

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Licenciado en Ciencias Ambientales



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**



**ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA**

“Estudio de las descargas de agua subterránea submarina en las costas del sector sur del Golfo de Valencia”

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autor/es:
David Vicente Vicente

Director/es:
D.ª Silvia Laura Falco Giaccaglia

GANDIA, 2011

Índice

1 Introducción..... 1

Antecedentes	1
Importancia de la SGD.....	1
Definición de descarga de aguas subterráneas submarinas	2
Breve información de la situación.....	2
Cuantificación de la SGD	4
El flujo de SGD y sus implicaciones sobre nutrientes costeros (N y P).....	7

2 Objetivos..... 9

3 Zona de estudio 10

Localización	10
Climatología.....	10
Geología	11
Litología	12
Geomorfología	13
Edafología.....	13
Hidrología	14
Fauna y flora.....	15

4 Material y métodos 17

Descripción de los muestreos	17
Información detallada de los puntos de muestreo	18
Parámetros analizados y su metodología	25

5 Resultados y discusión	27
Transectos perpendiculares a la costa	27
Perfiles verticales de salinidad y temperatura obtenidos <i>in situ</i>	27
Análisis de salinidad y nutrientes en muestras de agua superficial	31
Gráficos nutriente salinidad en los transectos perpendiculares a la costa	38
Muestreo de zona de surf desde Cullera hasta Denia	43
6 Conclusiones	50
7 Bibliografía	52
8 Anexos	54

1 INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En los últimos tiempos la descarga de aguas subterránea submarina (en adelante SGD del inglés Submarine Groundwater Discharge) ha sido reconocida como un importante flujo hacia el medio marino (Burnett et al., 2006). Como tal, este flujo puede contribuir a la biogeoquímica y a los balances marinos costeros. Esta corriente de agua dulce crea un estado de equilibrio entre ambas aguas, que solo es modificable de forma natural a largo plazo, como los debidos a cambios climáticos o movimientos relativos de la tierra y el mar (Custodio, 2001).

Hace muchos siglos que existen conocimientos relacionados con la descarga submarina de agua dulce subterránea. El geógrafo romano Estrabón, que vivió desde 63 a. C. al 21 d.C, mencionaba una fuente submarina 2,5 millas mar adentro de Latakia, Siria, cerca de la isla de Aradus en el Mediterráneo. El agua era recogida por un barco utilizando una especie de tubo de cuero, y transportada a la ciudad como una fuente de agua dulce. Otros relatos históricos hablan de vendedores de agua en Bahrein y la recolección de agua potable en manantiales submarinos (Kohout, 1966).

La hidrología de aguas subterráneas se ha ocupado tradicionalmente de identificar y mantener las reservas de agua subterránea potable. En la costa, su interés es, naturalmente, dirigida hacia la tierra y la atención se ha centrado sólo en el identificación del “interfaz” agua salada / agua dulce en los acuíferos costeros (Burnett et al., 2003).

A pesar del hecho de que los manantiales submarinos y las filtraciones se conocen desde hace muchos años, estos procesos han sido percibidos como curiosidades en vez de como objetos de investigación científica. Sin embargo esta percepción está cambiando. En las últimas décadas, ha surgido el reconocimiento de que al menos en algunos casos, la descarga de aguas subterráneas submarinas (SGD) puede ser importante tanto volumétricamente como químicamente (Johannes, 1980 en Burnett y Dulaiova, 2003).

Aunque no tan claramente como la descarga en los ríos, las aguas subterráneas continentales también vierten sus aguas directamente al mar. Mientras que las aportaciones de los ríos más importantes son cuantificadas y bien analizadas, permitiendo conocer estimaciones relativamente precisas de agua dulce y las entradas de contaminantes al mar, la evaluación de los flujos de agua subterránea y sus impactos sobre la franja de la costa es mucho más difícil, ya que no hay un indicador que muestre los flujos descargados al mar de forma sencilla (Burnett et al., 2006).

Importancia de la SGD

El vertido directo de aguas subterráneas al medio marino en las franjas costeras puede tener importantes consecuencias ambientales, debido a la contaminación de las aguas subterráneas por sustancias como nutrientes, metales pesados o compuestos orgánicos. Casi todas las zonas costeras están sujetas al flujo de las aguas subterráneas, ya sea como manantiales submarinos o filtraciones diseminadas (Burnett et al., 2006).

El estudio y el conocimiento de las relaciones entre el agua dulce y el agua salada en las regiones costeras reviste un gran interés ya que muchos acuíferos vierten sus aguas directamente al mar. Además ahora se reconoce que la descarga de aguas subterráneas, pueden ser una vía importante de contaminación difusa en las zonas costeras, donde los acuíferos pueden estar contaminados por los sistemas sépticos o por otras fuentes (Nuddemeier, 1996 en Burnett y Dulaiova, 2003). La descarga de agua subterránea enriquecida con nutrientes en aguas costeras puede contribuir a la eutrofización, proceso por el cual se enriquece una masa de agua con nutrientes disueltos que estimulan el crecimiento de plantas acuáticas. Este problema comúnmente desencadena una excesiva proliferación de algas y el agotamiento del oxígeno disuelto. Del mismo modo, la descarga submarina de aguas subterráneas también puede afectar directamente la disponibilidad de agua potable a las comunidades costeras, y producir impactos en los ecosistemas costeros frágiles, como los estuarios y los arrecifes de coral, e influir en la geomorfología litoral.

A pesar de que las SGD no puedan jugar un papel importante en el equilibrio mundial del agua, hay razones para creer que los ciclos geoquímicos de algunos elementos pueden estar fuertemente influenciados por el vertido directo de agua dulce subterránea en el mar, o por reacciones químicas que ocurren durante la recirculación del agua de mar a través de un sistema de acuíferos costeros. (Zektzer et al., 1973 en Burnett y Dulaiova, 2003).

La filtración del agua subterránea es desigual, difusa, temporalmente variable, y puede implicar varios acuíferos. Por lo tanto, la medida de su magnitud y sus flujos asociados son una tarea difícil (Burnett et al., 2006). Uno de los enfoques más prometedores a escala de evaluaciones regionales es el uso de marcadores geoquímicos. Esto es posible porque la columna de agua costera tiende a integrar trazadores naturales que entran en el sistema a través de vías subterráneas. Por lo tanto, las variaciones de escala más pequeña, que no serían de interés para los estudios, se suavizan.

Definición de descarga de aguas subterránea submarina

La descarga de aguas subterráneas submarinas (SGD), representa todos y cada uno de los flujos de aguas continentales costeras en fondos marinos, independientemente de la composición del fluido o la fuerza impulsora.

Las SGD se caracterizan por los bajos caudales, que hacen difícil su detección y cuantificación. Sin embargo, debido a que esas corrientes se producen a lo largo de zonas muy grandes, se consigue un flujo total significativo. La descarga de líquidos, ya sea procedente de la tierra o compuestos por la re-circulación del agua de mar, reaccionan con los componentes de los sedimentos. Estas reacciones pueden incrementar considerablemente las concentraciones de nutrientes, carbono y metales en los fluidos. Estos líquidos son por lo tanto una fuente de componentes bioquímicos muy importante para las costas de los océanos (Burnett et al. 2003).

Breve informe de situación

Hemos visto hasta ahora que el flujo de agua subterránea en el mar se caracteriza por un alto grado de variabilidad temporal y espacial, siendo a menudo una combinación de agua dulce subterránea y agua de mar recirculada.

Aunque no existe un patrón claro, creemos que de una forma segura se puede concluir que SGD es un proceso que representa una vía importante de entrada de nutrientes y otras sustancias químicas en algunas zonas costeras. La clave está en disponer de herramientas fiables para que podamos evaluar la magnitud de la descarga donde y cuando sea necesario.

En las zonas donde existen aguas subterráneas contaminadas, la descarga de aguas subterráneas podría producir la contaminación costera (Burnett et al., 2001). Por otro lado, la explotación en algunos lugares de las aguas subterráneas para usos como el riego, procesos industriales, y suministros de agua potable ha reducido significativamente o ha detenido completamente la descarga de aguas subterráneas en el mar. De hecho, la intrusión de agua salada en los acuíferos costeros se posiciona actualmente como un grave problema en muchas áreas.

La reducción o cese de la descarga de agua dulce en algunas zonas costeras plantea algunas preguntas importantes. ¿Cuáles son los efectos ecológicos en el medio marino de tales reducciones en el flujo de agua dulce? ¿Cómo pueden medirse los efectos de algo que ya no se produce?

Todas las cuestiones relativas a la evaluación de la magnitud de SGD son un tremendo desafío. Ahora que la comunidad científica reconoce la importancia del proceso, se ha comenzado a realizar diferentes tipos de mediciones serias (medidas de filtración, trazadores, modelación numérica, estimaciones del balance hídrico). Normalmente, sólo se usa un método en una sola investigación. La comparación de los resultados no es fácil, en concreto, las diferencias entre escalas son un problema, especialmente para un proceso tan heterogéneo. Los métodos de filtración y algunos tipos de trazadores naturales, responden a estudios a corto plazo y a pequeña escala, mientras muchos modelos hidrológicos englobarán largos periodos de tiempo y grandes áreas. Hay una necesidad real de mejorar nuestras técnicas de medición y modelización SGD, y de proporcionar además estimaciones de los errores cometidos en la evaluación (Burnett et al., 2001).

Existen varias estimaciones de la importancia de SGD en el balance hídrico mundial, concretamente se estima entre un 0,2 a 10% del caudal de los ríos (Garrels y Cosod II, 1987 en Burnett et al., 2001). En realidad parece poco probable que el valor real sea de más de un 5%. Por otro lado, en algunas zonas como las regiones kársticas, el SGD puede ser la vía dominante al mar. La parte noreste de la península de Yucatán puede ser un buen ejemplo sobre todo en el área donde la SGD domina a la escorrentía (Hanshaw y Back, 1980 en Burnett et al., 2001). Incluso dentro de una sola zona, en general es incierto qué parte de la descarga se está produciendo cerca de la costa y qué parte se está produciendo a lo largo de la plataforma sumergida. El paradigma solía ser que las SGD disminuían de manera exponencial con la distancia de la costa. No se está tan seguro de que este punto de vista simplista sea cierto. Se necesita más investigación para determinar dónde SGD es un proceso significativo.

Las especies reactivas, tales como nutrientes, metales y compuestos orgánicos, se someten a transformaciones importantes que complican el panorama sustancialmente. Por otro lado, estos elementos son los que centran el mayor interés. Hay pruebas que sugieren, por ejemplo, que SGD puede ser un factor clave en el ciclo de algunos elementos en el mar. Si se produce

una recirculación de agua de mar que pasa a través de una plataforma carbonatada se sabe que perdería Mg^{2+} , y ganaría Ca^{2+} , probablemente como resultado de la dolomitización de la piedra caliza. Los estudios de "Mud hole spring", en la costa oeste de Florida, ilustran muy bien este proceso (Fanning et al., 1981 en Burnett et al., 2001). Por desgracia los volúmenes de estas recirculaciones líquidas son tan indeterminados, que el resultado de la estimación de los flujos es extremadamente difícil. Un objetivo importante sería la mejora en la definición de la magnitud y detalles de los patrones de circulación. Las evaluaciones cuantitativas del flujo de agua, nos llevarán obviamente, más cerca de este objetivo y debe ser considerado como el primer paso lógico (Burnett et al., 2001).

Cuantificación de SGD

En general, se utilizan tres enfoques principales para estimar la magnitud de SGD. Estos incluyen: (1) medición directa manual o automática mediante métodos de filtración, (2) un conjunto de técnicas isotópicas que utilizan trazadores químicos para calcular los componentes de la actuales de SGD en la columna de agua sobre el fondo del mar, y (3) el modelado hidrogeológico.

MEDICIÓN DIRECTA MANUAL O AUTOMÁTICA

Las mediciones directas se limitan básicamente a la filtración y medida haciendo el seguimiento de especies geoquímicas naturales o trazadores artificiales. La única manera en que puede realizarse una medida directa de la descarga de aguas subterráneas es diseñar con un "medidor de filtración" descrito en un primer momento por Lee. El medidor de la filtración no es más que una cámara de agua insertada con un extremo abierto hacia el sedimento, de manera que el agua se filtra a través de los sedimentos y desplaza el agua atrapada en la cámara, produciendo un empuje hacia arriba a través de un pequeño agujero perforado en la parte superior. Esta agua entonces entra en una bolsa de plástico, que actúa como colector, de modo que el cambio de volumen de agua en la bolsa en un intervalo de tiempo medido proporciona la medición de flujo (Lee 1977, en Burnett et al. 2001).

Estos medidores son simples y de bajo costo y, si se usa con cuidado, puede proporcionar información útil. Por desgracia, los medidores también pueden tener fallos. Algunos de estos problemas se deben a las propiedades de las bolsas de plástico, que pueden dar lugar a flujos anómalos de agua no relacionadas con la filtración. Otros problemas pueden incluir las fugas alrededor de la base del medidor, las interferencias de las olas, y las diferencias de presión que puede provocar un flujo no relacionado con los flujos de agua subterránea. A pesar de estas dificultades, muchos investigadores afirman lograr resultados de alta calidad con tales dispositivos. Un estudio de evaluación del "Método-Lee" mostró que se pueden obtener resultados consistentes y fiables si uno está atento a estos problemas potenciales (Cable et al., 1997).

Por desgracia, la filtración manual requiere gran cantidad de mano de obra. Si nos interesa obtener información de una determinada zona un largo periodo de tiempo con el fin de evaluar modelos temporales o mareas, harían falta muchas horas de trabajo. Con el fin de resolver este problema, y también para conseguir la resolución de datos en series de tiempo, se han desarrollado diversas formas de automatizado de filtraciones. Un ejemplo de este

enfoque es el dispositivo térmico descrito por Taniguchi & Fukuo, 1993. Este medidor utiliza una cadena de termistores (el término termistor proviene de **Thermally Sensitive Resistor**) en una columna colocada sobre un embudo invertido que cubre un área conocida de sedimento. El fundamento del método es una medida del tiempo de propagación de un pulso de calor generado dentro de la columna por un calentador de inducción de alambre de Nichrome®. Puesto que el calor es una propiedad conservadora, el tiempo de propagación es una función de la velocidad de advección del agua que fluye a través de la columna. Así, una vez que se ha calibrado el sistema, las mediciones de flujo de filtración se pueden hacer de forma automática en una base continua. Este medidor puede medir correctamente las filtraciones durante varios días con una frecuencia de aproximadamente cinco minutos (Taniguchi & Fukuo, 1993).

También existen otros métodos, como el medidor de ultrasonidos de aguas subterráneas, el medidor de dilución de tinte y el medidor autónomo de filtraciones electromagnéticas.

TÉCNICAS ISOTÓPICAS CON TRAZADORES QUÍMICOS

Uno de los enfoques más prometedores para las evaluaciones a escala regional es el uso de marcadores geoquímicos. Esto se debe a que la columna de agua en la costa tiende a integrar trazadores naturales que entran en el sistema. Por lo tanto, las variaciones a menor escala, que no son importantes en el estudio, se suavizan. La variabilidad a pequeña escala ha supuesto un inconveniente para el uso de los medidores de filtración. Muchos sistemas de acuíferos costeros y los sedimentos que los cubren son por naturaleza muy heterogéneos. Por lo tanto, hay que compensar esta variabilidad natural haciendo gran cantidad de medidas. Obviamente, esto limita la zona de estudio donde se va a realizar la investigación.

En los últimos años, varios estudios han empleado la medida de la descomposición natural de la serie nucleídeos ^{226}Ra y ^{222}Rn para evaluar la entrada de agua subterránea al mar (Moore, Cable, Burnett y Corbett en Burnett et al., 2001). Idealmente, los marcadores geoquímicos naturales deben estar en cantidad suficiente en relación a las aguas costeras, ser de propiedades fijas y fáciles de medir.

Mientras que el radio y el radón cumplen bastante bien con estos criterios, existen otras posibilidades, que pueden ser utilizadas para realizar estudios de descarga de las aguas subterráneas. El Tritio y los isótopos de Helio parecen ser especialmente atractivos a pesar de que no se ajusten muy bien a la premisa "fáciles de medir". En realidad, los avances en la medición para todos los marcadores potenciales de las aguas subterráneas en las zonas costeras, donde las concentraciones son muy bajas, serían una gran ayuda para futuros estudios (Burnett et al., 2001).

Una reciente investigación multidisciplinar en una zona de excavaciones de Eckernförde Bay (oeste del Báltico) ha descubierto depresiones ovaladas y alargadas de 0,5 a 1,5 m por debajo del fondo marino generadas por la descarga de agua dulce de los acuíferos submarinos (Schluter et al., 2000 en Burnett et al. 2001). Al parecer, la corriente vertical hacia arriba deteriora la estructura de los sedimentos en la superficie, lo que aumenta la resuspensión local

por corrientes de fondo. Estas pruebas demuestran que la SGD puede ser responsable de dar forma y definir las características geomorfológicas del fondo marino (Burnett et al., 2001).

MODELADO HIDROGEOLÓGICO

En cuanto a la modelización existen varios métodos, incluyendo simples cálculos del balance hídrico. La modelización del flujo de agua subterránea, incluidas las estimaciones de descargas costera, se han convertido en las técnicas más populares con la disponibilidad de potentes ordenadores, basándose en paquetes de modelado numérico como MODFLOW. Básicamente, son métodos de cálculo y de modelado en tres grupos: (1) ecuaciones de flujo, es decir, soluciones numéricas analíticas de la Ley de Darcy, para el flujo de agua subterránea en medios porosos, (2) Balance de las masas de agua que generalmente consisten en agua con una proporción de sal, y (3) técnicas de separación, que permite examinar el flujo de base de las corrientes y mediante extrapolación interpretar el flujo de agua subterránea en la zona costera.

Todos los métodos de modelización, tienen ciertas limitaciones. Por ejemplo, las estimaciones hechas por las soluciones analíticas de la Ley de Darcy que asume que los acuíferos son sistemas homogéneos, cuando no suele ser el caso. Mientras que las soluciones numéricas pueden manejar situaciones heterogéneas, es especialmente difícil obtener valores representativos de la conductividad hidráulica en un acuífero. Además estos valores pueden variar en varios órdenes de magnitud en distancias cortas.

Mientras las propiedades de las aguas en tierra están bien estudiadas, las propiedades de los acuíferos son a menudo desconocidas, apenas conocidas o supuestas. También hay con frecuencia la suposición de que existe un estado estacionario, que no debe ser correcto debido a los conocimientos actuales en la materia.

Las estimaciones de cálculos de flujos de agua, si bien son relativamente sencillas, a menudo son muy imprecisas para las estimaciones de descarga de aguas subterráneas debido a las incertidumbres en los parámetros utilizados en los cálculos para realizar la evaluación. La evapotranspiración, por ejemplo, suele ser un término muy importante, pero no siempre es rigurosamente cuantificado. La técnica de separación hidrográfica, popular entre los científicos rusos, que han hecho estimaciones a lo largo del mundo con este enfoque (Zekster et al., 1973 en Burnett, 2001), se aplica únicamente a las zonas costeras de corrientes homogéneas y zonas relativamente poco profundas, sobre todo en acuíferos de agua dulce.

El modelado también se lleva a cabo en una gran variedad de escalas, que pueden o no corresponder a las escalas de interés de los oceanógrafos. Cerca de la costa el modelado se realiza en una escala desde decenas a cientos de metros, y en general se centra más en cuerpos de agua cerrados, tales como lagunas mareales. La escala de modelos regionales ($<100 \text{ km}^2$) se realiza en orden de kilómetros a decenas de kilómetros y se basan en datos de campo a menudo obtenidos a mayor distancia de la orilla. Además se supone que el agua subterránea que fluye hacia la costa realizará allí su descarga, sin tener en cuenta la distribución espacial. Dado que los efectos de SGD en las zonas costeras tienden a mostrarse a

escala regional, se prefieren los modelos que ocupan estas áreas, en lugar de macro escalas ($> 10.000 \text{ km}^2$), (Mwashote, 2010).

No importa cuál sea el enfoque, a la hora del desarrollo de metodologías para medir la descarga de aguas subterráneas submarinas, hay dos problemas fundamentales: (1) rara vez se emplea más de un enfoque en cada estudio, y (2) casi nunca se realizan estimaciones de la incertidumbre (Burnett et al., 2001). Rara vez se informa del error cometido en la medida de los flujos de aguas subterráneas ya que las estimaciones del error en los muestreos suelen ser en muchos casos suposiciones con respecto a un cálculo, muchas veces poner límites razonables al resultado final es extremadamente difícil. Obviamente, esta es un área donde se pueden realizar mejoras. La observación respecto a que la mayoría de las investigaciones se limitan a un método de medición no es realmente sorprendente. Los científicos en este campo son especialistas y, a menudo dudan en salir de ciertos límites. Hasta cierto punto, esto ya ha comenzado a cambiar y más estudios de equipo incluyen varias disciplinas (Burnett et al., 2001).

El flujo de SGD y sus implicaciones sobre los nutrientes costeros (N y P)

En general, los tres principales factores que controlan el flujo de N y P a través de los acuíferos costeros y sedimentos a las aguas costeras son: (1) las vías de flujo y las tasas de las aguas subterráneas, que determinan el tiempo de residencia y el grado de contacto con los sólidos del acuífero, (2) fuente y forma de N y P que proviene de fuentes naturales y antropogénicas, y (3) las condiciones redox en el subsuelo, que afectan en gran medida a los procesos de transformación y la movilidad de N y P en el sedimento.

En los estudios de nutrientes en zonas costeras, por ejemplo, la comparación de los datos de nutrientes revelan que las sustancias DIN, PO_4 , SiO_2 y PT son constantemente mucho más altas en el agua proveniente de las descargas subterráneas, que las del agua costera ambiente (Burnett et al., 2006). El enriquecimiento es de hasta un orden de magnitud de DIN y PO_4 . Esto demuestra que incluso en circunstancias donde la descarga de agua dulce subterránea no es cuantitativamente importante, el agua subterránea puede tener importantes implicaciones biogeoquímicas.

Una recopilación de SGD en cuanto a las correspondientes estimaciones de flujo de N y P muestra que las tasas pueden variar en órdenes de magnitud. Solamente se han llevado a cabo estudios cuantitativos sobre los aportes de nutrientes de las aguas subterráneas de la zona costera en un pequeño número de regiones, y muchos de ellos se encuentran en los Estados Unidos. Estos estudios sugieren que los aportes de nutrientes de las aguas subterráneas pueden suponer una parte importante respecto a los aportes fluviales a escala regional, y pueden desempeñar un papel importante en la determinación de la disponibilidad de nutrientes, la diversidad de especies y la producción primaria en la zona costera (Rutkowski et al., 1999; Valiela et al, 1990 en Mwashote, 2010). En particular, la entrada de las aguas subterráneas contaminadas con una alta relación N / P puede tener un impacto significativo sobre la ecología de las aguas costeras que sufren cambios en el balance de nutrientes y, en consecuencia estimular la floraciones de algas nocivas.

Las dos principales maneras en que la entrada de SGD afecta el ciclo de nutrientes en la zona costera son: (1) la entrada de nutrientes limitantes y el aumento de la producción primaria y, (2) cambio en el nutriente limitante de N a P. Esto indica que si se produce una contaminación sustancial de las aguas subterráneas costeras con N, y se lleva a cabo en una zona donde se produce SGD, puede ocasionar un cambio de limitación nitrógeno a limitación de fósforo mejorando significativamente la productividad primaria y la biomasa en los lugares cercanos a la costa (Mwashote, 2010).

Teniendo en cuenta el nivel actual de los estudios, se puede deducir que probablemente SGD es cuantitativamente más importante en aguas poco profundas y en acuíferos costeros más permeables (arena, piedra caliza) con altas tasas de recarga de aguas subterráneas. Las principales fuentes de N y P en las aguas subterráneas costeras son entradas naturales de la descomposición de materia orgánica y de P, por la disolución de minerales y las aportaciones antropogénicas de los fertilizantes, el estiércol y aguas residuales. El balance de N / P de SGD se sitúa comúnmente por encima de la ratio de Redfield (16:1).

2 OBJETIVOS

Los objetivos de este proyecto son principalmente intentar determinar indicios de surgencias de agua submarina, teniendo en cuenta que esta descarga de agua es a menudo difusa y que proporciona solo sutiles señales que hacen complicada su identificación. Para ello se van a llevar a cabo muestreos en los márgenes continentales, que juegan un papel crucial como zona de confluencia de aguas marinas y terrestres. Concretamente se pueden determinar tres objetivos prioritarios.

- Identificar posibles zonas de aportes de agua subterránea submarina mediante la realización de 9 puntos de muestreo a lo largo del Golfo de Valencia, mediante el estudio de nutrientes (amonio, nitrito, nitrato, fósforo y silicio), salinidad y la clorofila, tomando ocho de ellos en la zona de la rompiente de olas y uno a una distancia de unos 10 kilómetros como punto control.
- Realización de dos transectos perpendiculares a la costa en dos de los puntos muestreados para hacer un análisis más exhaustivo, y poder determinar con mayor fiabilidad la posible surgencia de aguas subterráneas determinando además de los parámetros anteriores medidas de la temperatura del agua respecto a la profundidad en cada punto del transecto.
- Analizar la calidad de las aguas subterráneas muestreadas que se han estudiado como parte de los transectos para determinar una posible contaminación.

3 ZONA DE ESTUDIO

Localización

La zona de estudio se sitúa al Sur de la provincia de Valencia y Norte de Alicante, todo ello englobado en el marco de la Comunidad Valenciana (figura 3.1).

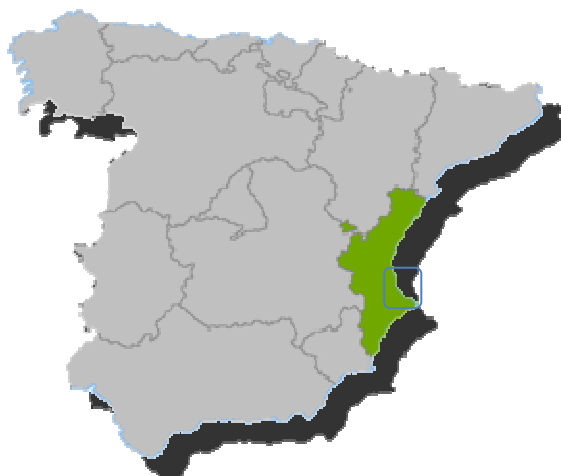


Figura 3.1. Situación de General de la zona de muestreo

Los municipios que engloba la zona de estudio de norte a sur son los términos de Cullera, Tavernes de la Valldigna, Gandía, Daimús, Oliva y Denia. La zona costera en la que se engloban todos los puntos de muestreo posee grandes alteraciones estructurales como puertos, espigones y otras obras como la infraestructura de defensa de la desembocadura del río Júcar. También en la zona de la franja del litoral se encuentran situadas grandes construcciones sobre las dunas, de desarrollos urbanísticos de la segunda mitad del siglo XX, existiendo además importantes zonas de segunda residencia en todos los términos municipales donde se realizan los muestreos.

Climatología

Los observatorios meteorológicos de estas comarcas tienen por denominador común, el típico rasgo mediterráneo de la sequía estival, causada primordialmente por la marcada preponderancia durante dicha estación de altas presiones en altitud e intervalos de subsidencia que detienen los ascensos.

Llamativa resulta la temperatura media anual relativamente alta del sector costero (Gandía 18°C), fruto de la combinación de un invierno muy benigno, con 11°C de media en enero y mínima para este mes de 6.3°C y de un verano caluroso (agosto, 26.5°C) las heladas son raras y más aún las nevadas. Sobresale asimismo el notable incremento de las precipitaciones, Gandía y Denia rondan la media de 700 mm anuales (figura 3.2). En cuanto al ritmo anual, tras el gran pico de otoño, estación que concentra el 42% del total de la precipitación y culmina en octubre (Gandía 109 mm) o noviembre, el mínimo invernal se difumina y abre paso a un escalón primaveral, a partir del cual un fuerte declive desciende hasta julio (Gandía 9mm), para repuntar en agosto, particularmente en la segunda mitad del mes, que preludia el otoño.

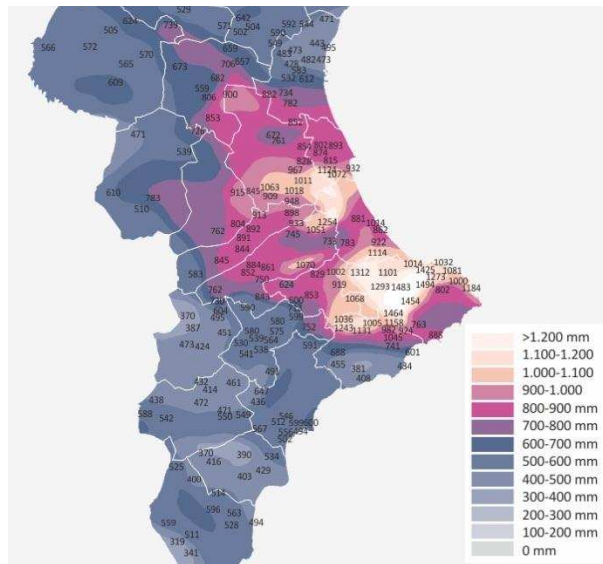


Figura 3.2: Precipitaciones anuales en los lugares próximos a la zona de estudio.

Es de notar los diluvios que rebasan el umbral de los 150mm/24h y, en particular los superiores a 200mm, en las tierras valencianas meridionales muestran clara preferencia por las comarcas de la Safor y Marquesat. Estos datos muestran el papel que desempeña el relieve para la ascensión de las masas de aire sumamente húmedas e inestables. Estas, conducidas por vientos del primero o segundo cuadrante en un área depresionaria o de borde de anticiclón, experimentan para salvar las alineaciones litorales o prelitorales, una convección forzada que inicia el ascenso del aire supramediterráneo hasta la propia tropopausa. Basta recordar como ejemplo lluvias tan copiosas como las recordadas los días 3 y 4 de noviembre de 1987, donde Gandía midió 720 mm en 24/h (Gil, 1994).

Geología

La geología de una región es el resultado de tres componentes básicas: litología; conjunto de materiales (minerales y rocas) que afloran en su territorio, estructura; conjunto de formaciones resultantes de la actuación de las fuerzas internas de la tierra sobre unas litologías concretas, y geomorfología; conjunto de relieves que se originan por procesos superficiales sobre unas rocas con una estructura determinada. Estas tres componentes se inscriben dentro de un contexto temporal histórico suministrado por la geocronología, bien en su aspecto relativo (determinando si un material o proceso concreto es más antiguo o más moderno que otros) o absoluto (calculando la edad precisa, en millones o fracciones de millón de años, por métodos radiométricos o paleomagnetométricos).

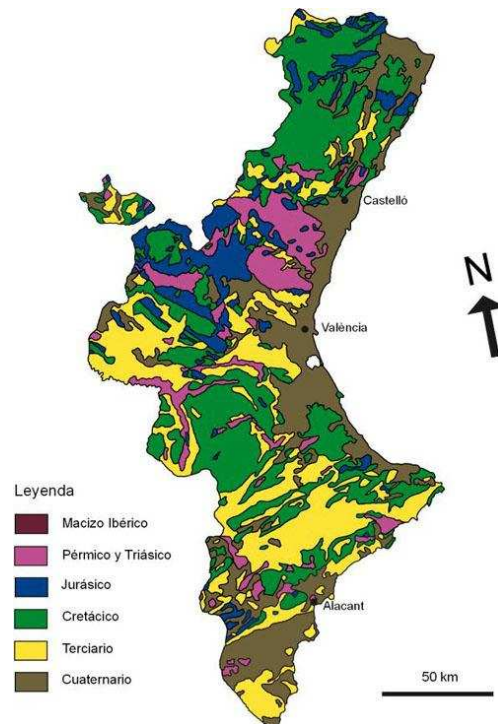


Figura 3.3: Mapa geológico simplificado de la Comunidad Valenciana

La zona de estudio se fundamenta en las llanuras litorales del sur de Valencia y norte de Alicante. Esta franja litoral, de anchura muy variable y apenas deformada, aparece como una plataforma casi horizontal ligeramente inclinada hacia el mar. Por el lado oeste enlaza, bien a través de suaves relieves intermedios o bien de forma brusca, con la serie de cadenas montañosas de morfología y orientación muy variables, que se han citado anteriormente.

Estas llanuras litorales se han ido formando por aportes continentales (ríos, ramblas, torrentes, arrolladas en manto) que producen la acumulación de potentes materiales terrígenos, aportados por la erosión de los relieves mesozoicos o por los aportes de sedimentos marinos, durante el Terciario y el Cuaternario. La llanura litoral presente desde Castellón hasta Denia, se presenta muy estrecha en nuestra zona de estudio, hasta quedar estrangulada por el Montgó, en las proximidades de Denia (figura 3.3).

Además cabe destacar que la zona de estudio se enmarca dentro de un área donde en la actualidad se siguen produciendo movimientos de las fracturas originadas durante la última estepa, lo que hace que la zona de estudio presente una sismicidad que puede considerarse como media, existen epicentros sísmicos recientes en Pego, los alrededores de Valencia, Játiva, Alcira, Algemesí, Onteniente y Daimuz.

Litología

Las rocas sedimentarias durante el periodo cuaternario ocupan importantes extensiones, sobre todo en las llanuras litorales, donde se han producido deposición de los materiales erosionados de las zonas montañosas. Son depósitos de génesis muy variable, sedimentos en ambientes de naturaleza marina, continental o mixta. Según sea el tipo de transporte del sedimento se distingue entre:

- Sedimentos transportados: que se diferencian en fluviales (terrazas fluviales, abanicos aluviales, conos de deyección, limos de inundación, limos pardos fluviales, limos de vertiente, glaciares); marinos (terrazas marinas, cordones litorales); eólicos (limos eólicos, dunas litorales); mixtos (piedemonte, abanico deltaico, aluvial-coluvial, fluvial-marino, etc.).
- Sedimentos poco transportados: lacustres, limos grises y pardos, turbas, tobas y calizas pulverulentas, arcillas de descalcificación.
- Sedimentos sin transporte: costras calcáreas de tipo diagenético formadas sobre materiales calcáreos.

De entre todos estos materiales cuaternarios, quizá deban resaltarse, debido a su importancia ecológica, los sedimentos tipo albufera, constituidos por limos pardos, grises y turbas. En la actualidad quedan vestigios de casi todas ellas y se encuentran repartidas a lo largo de toda la línea de costa: marjal de Xeresa, humedales de Pego-Oliva y más al sur los vestigios de las albuferas de Jávea y Calpe. Toda esta sucesión de turberas, marjales y albuferas constituyen biotipos de características muy peculiares y presentan en la actualidad un evidente interés geológico, ecológico y económico (Robles, 1995).

Geomorfología

En cuanto a la Geomorfología podemos distinguir dos zonas, durante todo el litoral, más o menos modificados con las construcciones que se encuentran durante la costa.

- Llanura litoral: constituida por materiales aluviales depositados horizontalmente (gravas, arenas, limos y arcillas). Suelo vegetal arcilloso potente. Zona prácticamente plana con drenaje aceptable a malo. Estable.
- Cordón litoral de playas y dunas: material arenoso fino, mal graduado. Las dunas, de unos 2-3 m de altura, resaltan en una zona de morfología plana. El drenaje superficial puede considerarse bueno, siendo una zona estable.

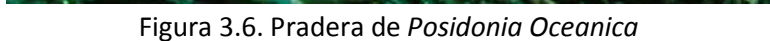
Edafología

La mayoría de suelos presentes en la zona litoral están formados por cordones dunares y en alguna ocasión tienen una fuerte incidencia de marjales o zonas húmedas que se sitúan justo al interior. Estos suelos pertenecen a los denominados arenosoles.

Los arenosoles tienen una textura más gruesa que franco arenosa, hasta una profundidad de 100cm a partir de la superficie, sin otros horizontes de diagnóstico más que un horizonte A ócrico o un horizonte E albico.

Son suelos con características muy peculiares, en los que predomina la fracción arena mayoritariamente. Se trata de suelos no evolucionados, con escasa o nula incorporación de materia orgánica, y un perfil uniforme prácticamente indiferenciado.

Las Dunas marinas, se constituyen de arenas semifijas, con un drenaje elevado y con suelos "Arenosol calcárico", mientras que las zonas de depresión de marjal contienen arenas imperfectamente drenadas, y un perfil imperfectamente drenado con suelos "Arenosol gleico" (Generalitat Valenciana, 1995).

[illegible]

En lo que a la fauna de estos fondos, a simple vista desprovistos de cualquier forma de vida, es importante destacar que la fauna existente es errante y disfruta de sistemas de mimetismo o camuflaje para pasar desapercibida, además de poder enterrarse. Abundan los anélidos poliquetos, los moluscos lamelibranquios como *Venus gallina*, *Tellina nítida*, *Tellina pulchella*, *Donax semistriatus*, *Mactra corallina*, *Spirsula subtruncata*, *Dosinia lincta* y en zonas más someras *Donax trunculus* y *Lentidium mediterraneum* y equinodermos como *Echinocardium mediterraneum* (García, 1991 en Sospedra, 2010).

4 MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción de los muestreos

La campaña de muestreo se realizó durante la primavera de 2010 en la zona litoral del sur de la provincia de Valencia y al Norte de la provincia de Alicante. Se realizó una campaña de recogida de muestras los días 8 y 9 de junio de 2010.

Los puntos de muestreo fueron tomados a lo largo del litoral que abarcaba la zona de estudio, obteniendo 9 puntos de muestreo repartidos en la zona (figura 4.1). Las muestras fueron tomadas de agua superficial a la altura del rompiente de olas, también llamada como zona de surf. Se toman 8 puntos de muestreo a lo largo de las costas desde Cullera hasta Denia, y luego un punto control situado casi a 10km de distancia mar adentro.

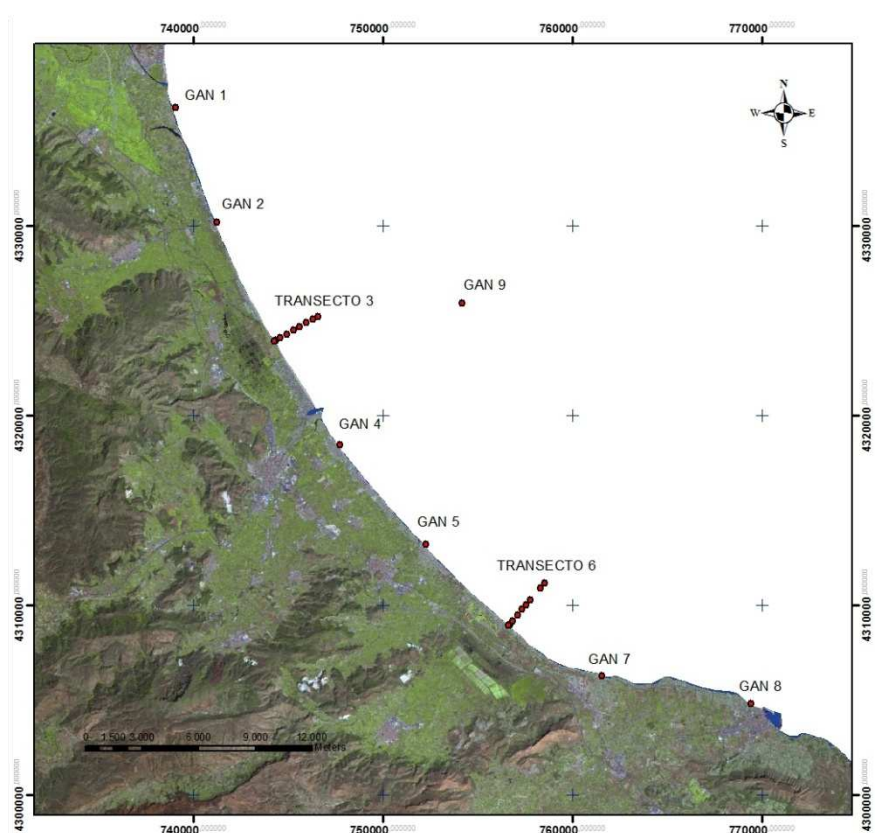


Figura 4.1. Mapa de la zona de estudio y los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo 3 y punto de muestreo 6, además del punto tomado en la zona de surf (GAN 3G y GAN 6G), se tomaron unos transectos lineales mar adentro y una muestra de agua subterránea excavada en la playa. Los puntos mar adentro se realizaron perpendiculares a la costa, tomando como referencia (0 metros) el punto en la zona de surf tanto en el transecto 3 como en el transecto 6. Estos transectos se realizaron para obtener una mayor cantidad de datos que nos pudieran dar indicios de la presencia de surgencias de agua subterránea submarina a lo largo de estos transectos. A continuación se detalla en dos tablas los puntos de muestreo tomados así como la distancia de referencia y la profundidad que tiene el lugar muestreado tanto en el transecto 3 (Tabla 4.1), como en el transecto 6 (tabla 4.2).

Punto	Nombre	Distancia de ref.(m)	Profundidad (m)
1	G3H	-20	playa
2	G3G	0	Zona de surf
3	G3	261	1,7
4	G3A	667	5,5
5	G3B	984	8,6
6	G3C	1344	11,4
7	G3D	1694	13,4
8	G3E	2010	15,4
9	G3F	2355	17,2

Tabla 4.1: Descripción de los puntos del transecto 3

Punto	Nombre	Distancia de ref.(m)	Profundidad (m)
1	G6H	-20	playa
2	G6G	0	Zona de surf
3	G6	167	1,9
4	G6A	601	7,1
5	G6B	901	9,8
6	G6C	1224	11,8
7	G6D	1561	13
8	G6E	2420	14,3
9	G6F	2870	15,5

Tabla 4.2: Descripción de los puntos del transecto 6

Recordamos que todos los puntos de muestreo salvo los puntos GAN 3H y GAN 6H están tomados del agua superficial. Posteriormente se va a realizar una descripción pormenorizada de la zona colindante a cada punto de muestreo. Esta descripción pretende sobre todo establecer las posibles entradas de aguas superficiales colindantes a cada punto, puesto que existen un total de 9 puntos en condiciones totalmente diferentes.

Información detallada de los puntos de muestreo

Gandia 1

El punto de muestreo se encuentra en un pequeño saliente de la playa (figura 4.2), afectado por dos salidas de agua dulce, en la parte superior y a unos 1000 metros se encuentra la desembocadura del río Júcar, que le aportará más cantidad de agua dulce debido a la mayor cantidad de caudal y a la posición de este que se sitúa en la parte norte y afectará por la dinámica de las corrientes litorales en mayor medida al punto de muestreo. En la parte inferior y a 1800 m se sitúa una salida de agua superficial muy inferior pero también interesante llamada *L'Estany de Cullera*.



Figura 4.2: Localización del punto de muestreo G 1.

Gandia 2

El punto de muestreo Gandía 2 se encuentra más aislado de ríos y de la salida de las acequias, aparentemente este punto no recibe agua superficial, pero aun así en la parte norte del punto de muestreo se encuentra una acequia situada a 1500m y en la parte sur la acequia más próxima se encuentra muy lejana, situada ya en torno a 3350 m. Estas acequias se encuentran a bastante longitud y además se presupone que no aportarán mucho caudal, aunque realmente se desconoce su importancia. El río Júcar se sitúa ya a 7,3 km al norte, por lo que se espera que no llegue a producir una influencia sobre este punto de muestreo.

El espacio colindante a este punto de muestreo está urbanizado y se trata de una playa de veraneo, la Playa de Tavernes de la Valldigna (figura 4.3). No es una zona muy saturada de edificación pero forma una importante barrera paralela a la línea de costa.

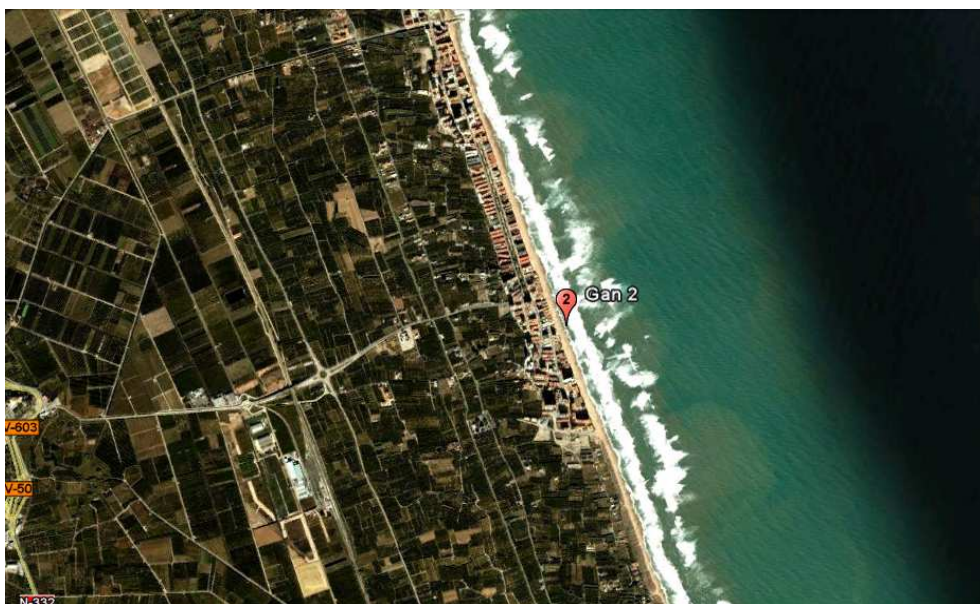


Figura 4.3: Localización del punto de muestreo G 2.

Gandia 3

El punto de muestreo 3 se encuentra en la playa de Gandía, a la altura de la Marjal de Xeresa (figura 4.4). Se podría comentar este punto tan solo observando los ríos o acequias que lo colindan, pero sería una determinación poco eficaz, ya que a pocos metros al interior yace un gran humedal que podría aportar agua subterránea en torno al punto de muestreo. Los ríos que colindan este punto son el río Vaca en la parte superior (a unos 850m) y el río Serpis en la parte inferior y a unos 5000m. El río Vaca es un río de poca importancia con una longitud de 16,6 km. Este río presenta durante la mayor parte del año caudales escasos e incluso inexistentes y que junto a la escasa pendiente que tiene en el último tramo, ayuda a la formación de un cordón litoral que dificulta la desembocadura del río y disminuye los caudales de agua que puede desaguar. Durante el mes de junio-julio la barrera arenosa fue de más de 30 m de anchura por lo que el descenso de la salinidad en GAN 3G podría asociarse más bien a aportes de aguas subterráneas.

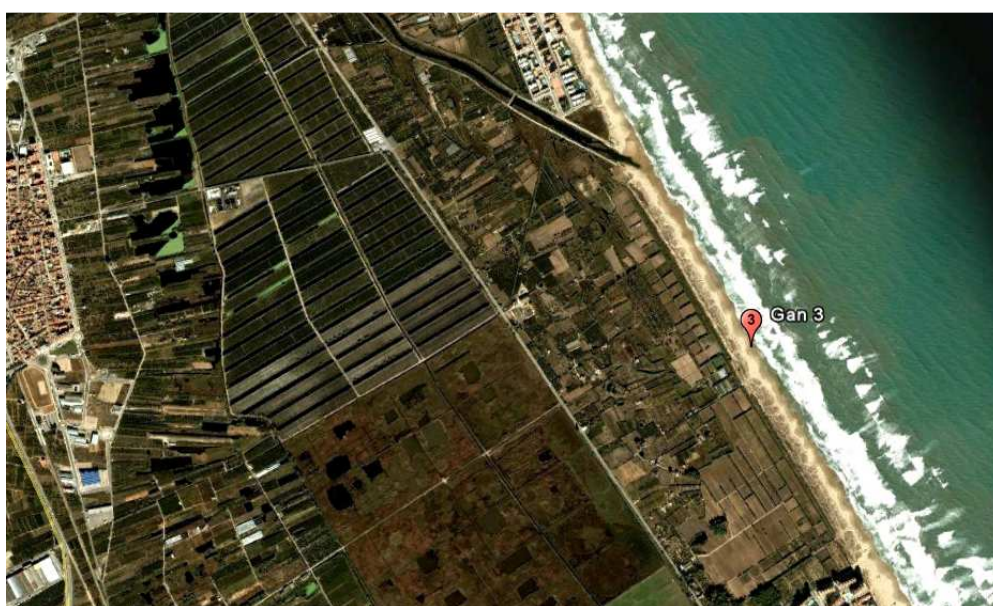


Figura 4.4: Localización del punto de muestreo G 3.

La marjal se sitúa a menos de 800m en línea recta hasta la línea de playa.

Gandia 4

Punto situado al sur del río Serpis en la tranquila localidad de Daimús (figura 4.5). Este punto de muestreo se encuentra a 1400 m al sur de río Serpis y a 375 m de una acequia de poca importancia. Es posible por tanto que el agua dulce que proviene del río Serpis, tenga influencia en este punto de muestreo, además en la parte inferior también se encuentra otra acequia más importante que la anterior a una distancia de 1085 m.



Figura 4.5, Localización del punto de muestreo G 4.

Gandia 5

El punto de muestreo 5 está situado en la parte norte de la playa de Oliva, coincidiendo con la Urbanització les Canyades, en un entorno bastante urbanizado, en el que confluyen el puerto de Oliva urbanizaciones y la playa ya mencionada (figura 4.6).

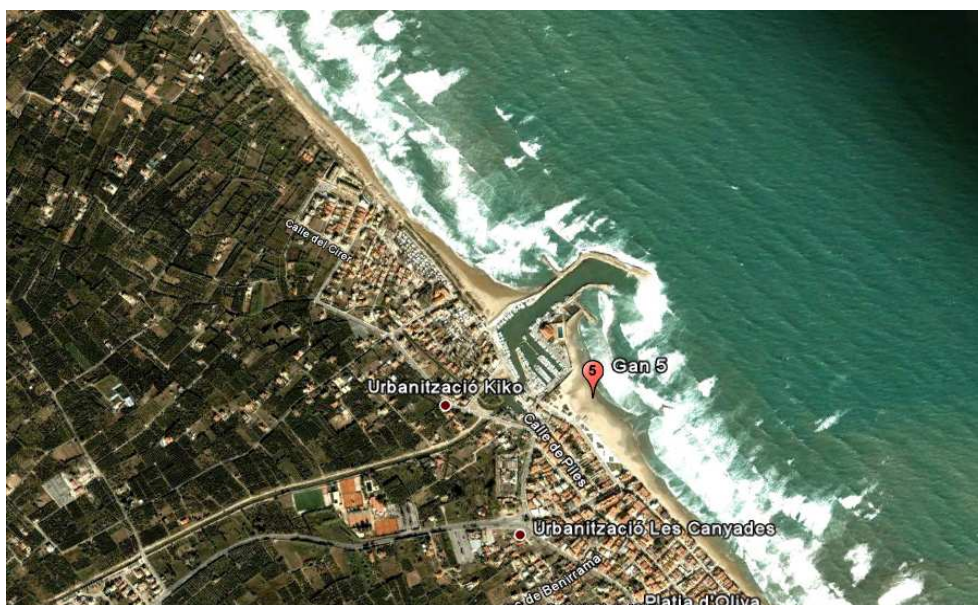


Figura 4.6, Localización del punto de muestreo G 5.

Este punto de muestreo tiene una gran influencia por el puerto de Oliva, que está formado por un canal que proviene de esta misma localidad. La desembocadura de este se encuentra a unos 300m por lo que se prevé una influencia directa. Además en la zona sur del punto de muestreo encontramos otro punto de salida de agua superficial, pero este barranco se encuentra lejano del punto de muestro y ya tendrá poca influencia. En la parte norte encontraremos barrancos situados a mayor longitud pero que también tendrán poca influencia en el punto de muestreo.

Gandía 6

El punto de muestreo Gandía 6 está situado a la parte sur de la urbanización Oliva Nova Golf, junto con la urbanización San Fernando, a primera vista este punto destaca porque está fuertemente influenciado por la marjal de Pego-Oliva (figura 4.7), que se constituye como un parque natural y un humedal de referencia de la Comunidad Valenciana.



Figura 4.7: Marjal de Pego-Oliva.

Este parque natural de gran extensión suministra al mar por su cercanía gran cantidad de agua subterránea, además de influir en la regresión de la zona de mezcla de las distintas aguas. Toda la franja cercana al mar se sitúa a menos de 2 kilómetros del punto de muestreo, y se verá afectada muy directamente por esta.

Además la marjal tiene unos sistemas para regular el caudal y la cantidad presente en esta mediante unas compuertas, estas compuertas llevan agua a la salida de un río, llamado río Racós o del Molinell (figura 4.8). Este río está situado a menos de 800m del punto de muestreo y se trata de un río estacional que probablemente se encuentre seco, o que contenga un caudal muy bajo.

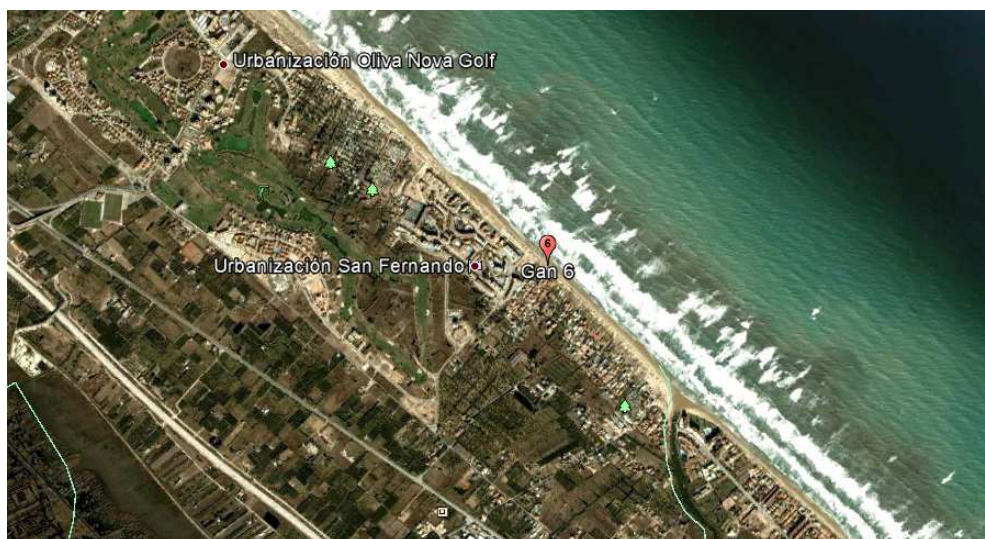


Figura 4.8, Localización del punto de muestreo G 6.

Por último señalar que existe un campo de golf cercano al punto de muestreo, que deberá estar regado constantemente y que puede afectar a la dinámica de las aguas subterráneas en su salida al mar.

Gandía 7

El punto de muestreo 7 se encuentra en la playa de Almadrava (figura 4.9), entre la Urbanización “Les ánfores” y la población de “Els Poblets”. Al interior de este se sitúa la población de Verger. Es un punto acusado con mucha urbanización y multitud de espigones presentes en la costa.

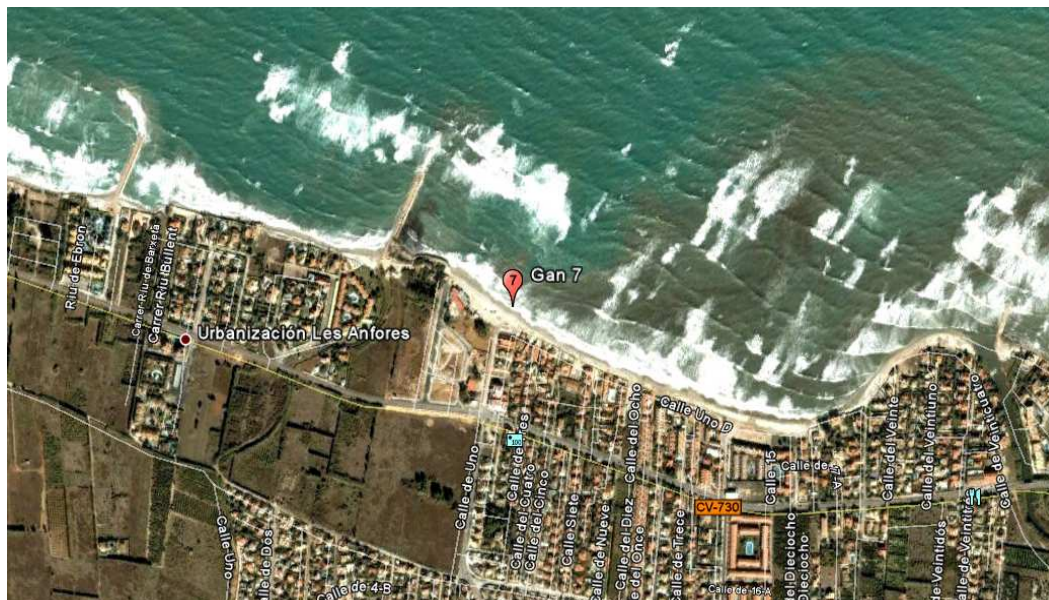


Figura 4.9: Localización del punto de muestreo G 7.

En la parte del Norte del punto de muestreo se encuentra la salida de una acequia, a priori esta salida de agua, que se encuentra a corta distancia (300m), podría suponer una influencia sobre el punto muestreado, pero en realidad existe un espigón en medio que se extiende unos 200m perpendicular a la costa y que puede mitigar considerablemente esta influencia. A unos 900m al sur, sin embargo se encuentra un río (Río Girona) que nace en el barranco de Fontblanca en el municipio de Valle de Alcalá y posee una longitud de 38.6 km. El escaso caudal del río se infiltra en las calizas de este cañón, desapareciendo del todo durante parte del año. El cono aluvial del río forma una zona inundable, muy intervenida para la construcción. La desembocadura separa los municipios de Denia y “Els poblets” con un ancho de desembocadura de 17 a 30 metros.

Gandía 8

Este punto de muestreo se encuentra en una zona claramente vacacional en la zona Norte de Denia, entre esta y la playa de Les Marines (figura 4.10). Punto muy cercano al gran puerto de Denia que es la partida de rutas hacia Baleares por el mediterráneo.



Figura 4.10: Localización del punto de muestreo G 8 junto al puerto.

El punto de muestreo Gandía 8 se encuentra entre dos acequias muy cercanas que vierten sus aguas a escasos metros, como se observa en la figura 4.11. La acequia superior se encuentra vertiendo sus aguas a escasos 350m al Norte, mientras que la acequia que se encuentra al sur vierte sus aguas a tan solo 25 - 30 m. La cercanía e importancia del puerto producirá grandes cambios en la dinámica de esta zona.

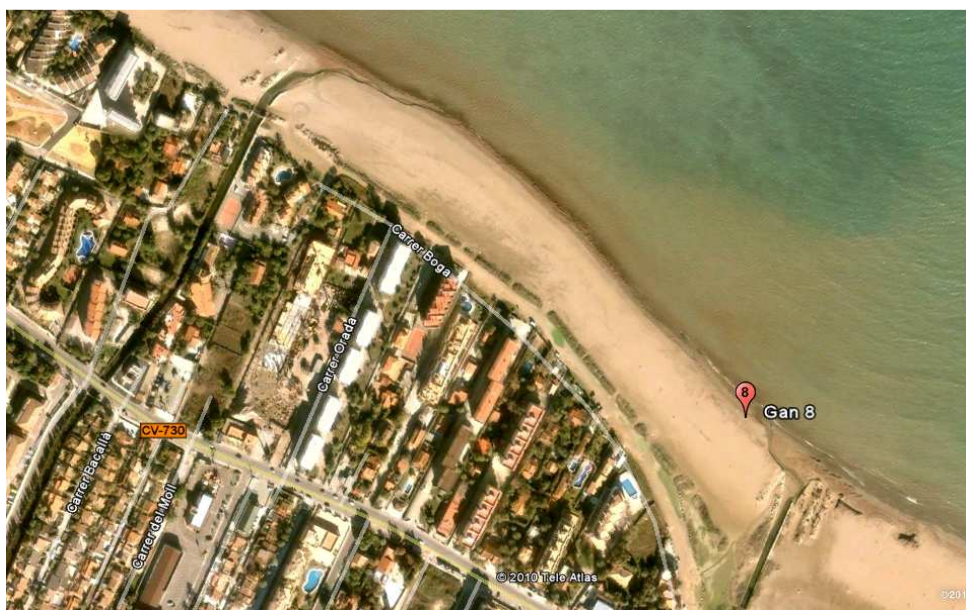


Figura 4.11: Localización del punto de muestreo G 8.

Gandia 9

Este punto de muestreo se encuentra a 9300m mar adentro de la Playa de Gandia y se trata de un punto control, alejado de la costa y una referencia no influenciada por ríos, ramblas, canales acequias y otros posibles puntos de agua dulce (figura 4.12).

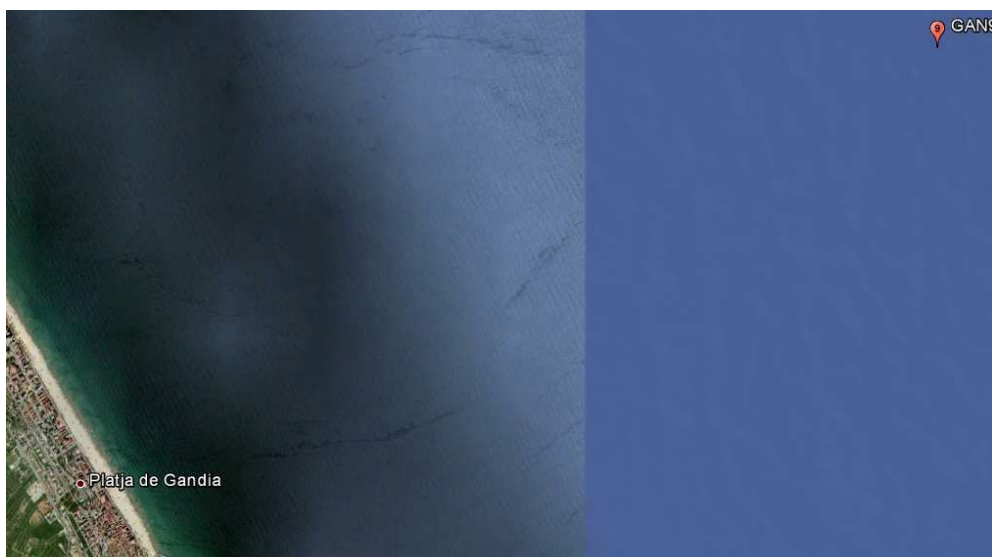


Figura 4.12: Localización del punto de muestreo G 9.

Parámetros analizados y su metodología

Posteriormente se describen los parámetros analizados en el agua y la metodología que hemos empleado para su determinación:

- Amonio (NH_4^+): determinado según la técnica descrita en Baumgarten et al. (1996). Esta técnica consiste en la adición de fenol, citrato e hipoclorito. El amonio reacciona con el hipoclorito que junto con el fenol y el citrato, catalizado por nitroprusiato, forma un complejo llamado azul de indofenol el cual es medido por espectrofotometría. Esta técnica debe ser llevada a cabo inmediatamente después de muestrear ya que el amonio es muy inestable y volátil. El límite de detección se sitúa en $0,1 \mu\text{M}$.
- Nitratos más nitritos ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$); descrito en Baumgarten et al (1996). Los nitratos son reducidos hasta nitritos empleando una columna rellena de cadmio y una solución cúprica lo que se conoce, como la reacción de Griess, que serán leídos, junto los nitritos originales, en espectrofotómetro a 543nm previa adición de sulfanilamida y etilendiamina. El límite de detección se sitúa en $0,1 \mu\text{M}$.
- Sílice; consiste en la reacción entre el molibdato amónico y el ácido ortosilícico según Strickland y Parson (1972). El silicio disuelto reacciona con el molibdato de amonio en medio ácido formando un complejo amarillento que a su vez, con la adición de una mezcla reductora de metolsulfito, se reduce a ácido silicomolibdato reducido, un complejo azul, cuya absorción máxima la alcanza a 810 nm . El límite de detección está en $0,1 \mu\text{M}$.
- Fósforo soluble reactivo; (PSR). La determinación del fósforo soluble reactivo sigue la metodología de Murphy y Riley (1962). Esta técnica, método colorimétrico del azul de molibdeno, consiste en la adición de molibdato amónico y tartrato de antimonio en medio ácido para formar el complejo fosfomolibdato de antimonio reducido a su vez

por el ácido ascórbico formando el fosfomolibdato reducido, de coloración azul. Con esta técnica se sobrestima las cantidades reales ya que existen otras formas químicas que reaccionan de forma similar a los fosfatos (Rodríguez, 2010). Su límite detección está en 0,01 μM .

- Clorofila a: es analizada por el método tricromático basado en espectrofotometría visible (APHA, 2005) usando las ecuaciones descritas por Jeffrey y Humprey (1975). La clorofila a es extraída por la acetona tamponada con CaCO_3 durante al menos 2 horas para su posterior lectura a cuatro longitudes de onda diferentes (630, 647, 664 y 750 nm).
- Temperatura, salinidad y PAR; se utilizó un CTD de la marca Falmouth Scientific, Inc (FSI) en el cual se instaló un sensor PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) de SatAtlantic.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Transectos perpendiculares a la costa

En este apartado se muestran y discuten los datos de los parámetros fisicoquímicos (salinidad y temperatura), nutrientes (amonio, nitrito, nitrato y fósforos) y otros parámetros como el de clorofila para los transectos perpendiculares a la costa. Los puntos de muestreo para el transecto 3 son (ordenados en longitud desde la costa) GAN3H, GAN3G, GAN3, GAN3A, GAN 3B, GAN 3C, GAN D, GAN 3E, GAN 3F y en el transecto 6 son GAN 6H, GAN 6G, GAN 6, GAN 6A, GAN 6B, GAN 6C, GAN 6D, GAN 6E, GAN 6F. Los puntos “H” constituyen a puntos muestreados de aguas subterráneas excavados en la playa de ese mismo transecto, los puntos “G” son puntos tomados en la zona de la rompiente de olas y los demás puntos se reparten mar adentro con una profundidad creciente.

PERFILES VERTICALES DE SALINIDAD Y TEMPERATURA OBTENIDOS IN SITU

En las figuras realizadas que se presentan posteriormente, (figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4) se muestran las salinidades respecto a la profundidad, obtenidas en el transecto 3 y el transecto 6.

En el transecto 3 se muestra un aumento de salinidad a medida que aumenta la profundidad en todos los gráficos a excepción de GAN 3. Este aumento es debido a que el agua salada (más densa) se sitúa en la parte más profunda. Los perfiles GAN 3A, GAN 3B y GAN 3C que presentan una menor profundidad, no llegan a tener zonas diferenciadas en las que observen masas de agua de diferente salinidad, además GAN 3B posee un ligero descenso de 0,06‰ en los últimos 50 centímetros del perfil. Los puntos más profundos (GAN 3D, GAN 3E y GAN 3F), la parte más superficial experimenta un aumento de la salinidad respecto a la profundidad más elevado y posteriormente los valores a partir de 6/8 metros tienden a estabilizarse.

En el transecto 6, en los puntos GAN 6A, GAN 6B, GAN 6C, GAN 6D, GAN 6E, se observa un aumento ligero de la salinidad en los primeros metros de la columna de agua seguido de una estabilización. El último punto de muestreo (GAN 6F), presenta un perfil creciente de salinidad con dos pequeños picos de salinidad a la profundidad de 9 y 14 metros. Sin embargo, en el punto de muestreo más cercano a la costa (GAN 6) se puede observar una zona de menor salinidad en la zona más profunda. Los últimos 20 centímetros la salinidad disminuye 0.05 ‰, después de estar aumentando en primer lugar, por tanto este perfil podría indicar una posible surgencia de agua más dulce.

Figura 5.1: Perfiles verticales de salinidad en los puntos de muestreo del transecto 3

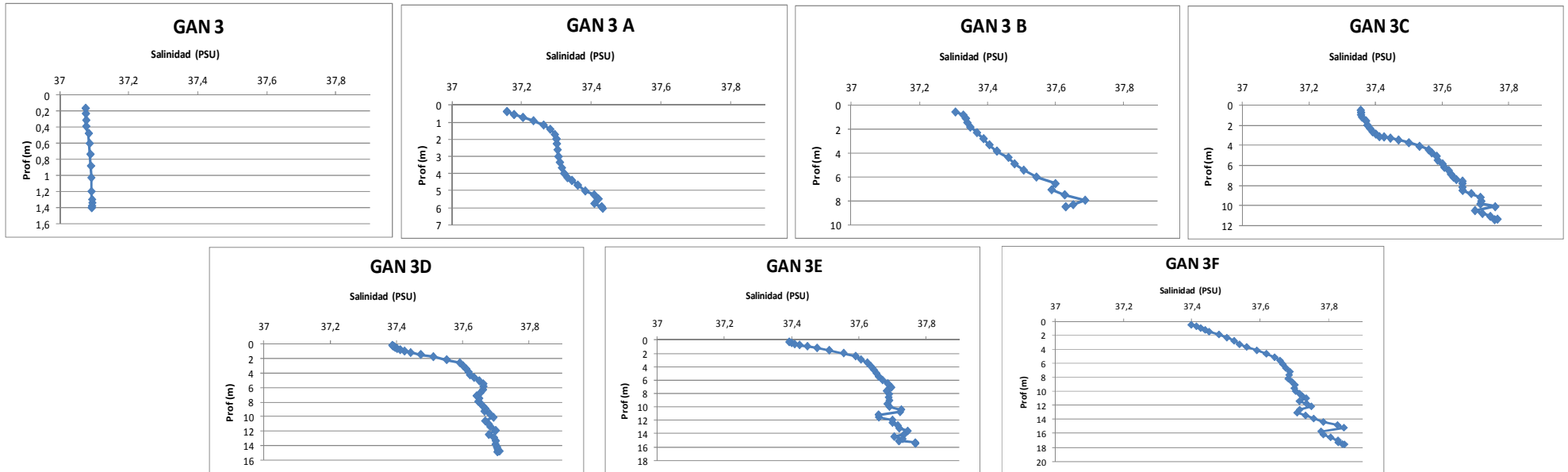
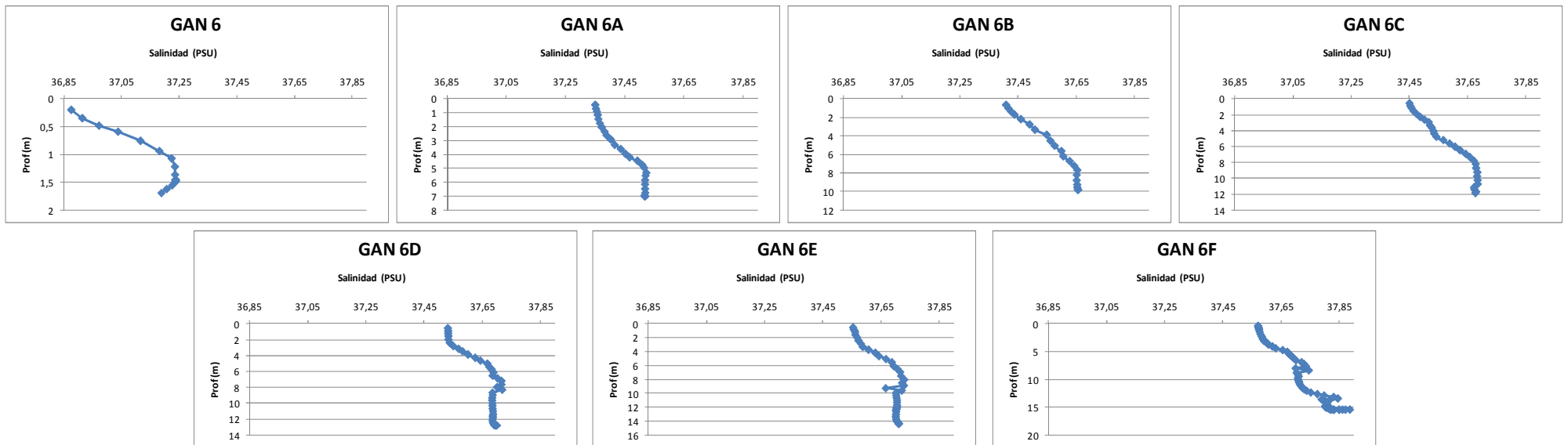


Figura 5.2: Perfiles verticales de salinidad en los puntos de muestreo del transecto 6



En las figuras 5.3 y 5.4 se muestran los perfiles de temperatura en todos los puntos de muestreo de los dos transectos realizados.

En el transecto 3 observamos que en los perfiles más cercanos a la costa (GAN 3 y GAN 3A), existe una temperatura bastante homogénea (sobre todo en GAN 3) además de más alta que el resto (22,5°C a 23,2°C) debido a la poca profundidad de estos puntos y la mezcla casi constante a que están sometidos por el oleaje. Los perfiles de los puntos GAN 3B, GAN 3C, GAN 3D, GAN 3E y GAN 3F, son muy parecidos entre sí, mostrando valores más elevados en superficie (en torno a 23°C) que en el fondo, y siendo estos últimos cada vez más bajos a medida que nos alejamos de la costa. La temperatura mínima a la que se llega en la parte más profunda del perfil, va desde los 20,6°C en GAN 3B, hasta 18,4°C en GAN 3F. Estos gradientes de temperatura con la profundidad se deben a que en la época en que se tomaron los puntos, (final de la primavera), la temperatura ambiental es más alta que la temperatura a la que está el agua marina, por ello las longitudes de onda más largas, correspondientes al infrarrojo, comienzan a ceder calor a la parte más superficial del mar. Esta zona comenzará a intercambiar calor con sus aguas limítrofes, produciendo una situación de temperatura decreciente respecto a la profundidad. Con el paso del tiempo este proceso definirá una zona más superficial con una capa mezclada a temperatura superior más o menos homogéneas y después una amplia zona de disminución suave de la temperatura con la profundidad llamada termoclina (Rodríguez, 2010).

La temperatura en el transecto 6 muestra en los primeros puntos cercanos a la costa (GAN 6, GAN 6A, GAN 6B y GAN 6C) una pauta similar, en la que se puede observar un descenso gradual de la temperatura con la profundidad. Esto indica que no se ha producido estratificación a diferentes profundidades y que existe un gradiente de temperatura más o menos lineal. Únicamente el primer punto (GAN6) se aprecia un aumento de la temperatura de casi 0,1°C en los últimos 20 cm, que podría deberse al contacto con el fondo. Los puntos GAN 6D y GAN 6E también poseen unas características de la temperatura respecto a la profundidad muy similares entre si, mostrando un perfil con dos partes bien diferenciadas. La primera parte (superior), con una disminución de la temperatura progresiva y la segunda (inferior) con una temperatura constante hasta el fondo. En el punto de muestreo GAN 6F se observa una situación diferente en la que predomina una disminución de la temperatura más acusada que en el resto llegando desde 23.5°C en la superficie hasta 18.5°C en el fondo.

Figura 5.3: Perfiles verticales de temperatura en los puntos de muestreo del transecto 3

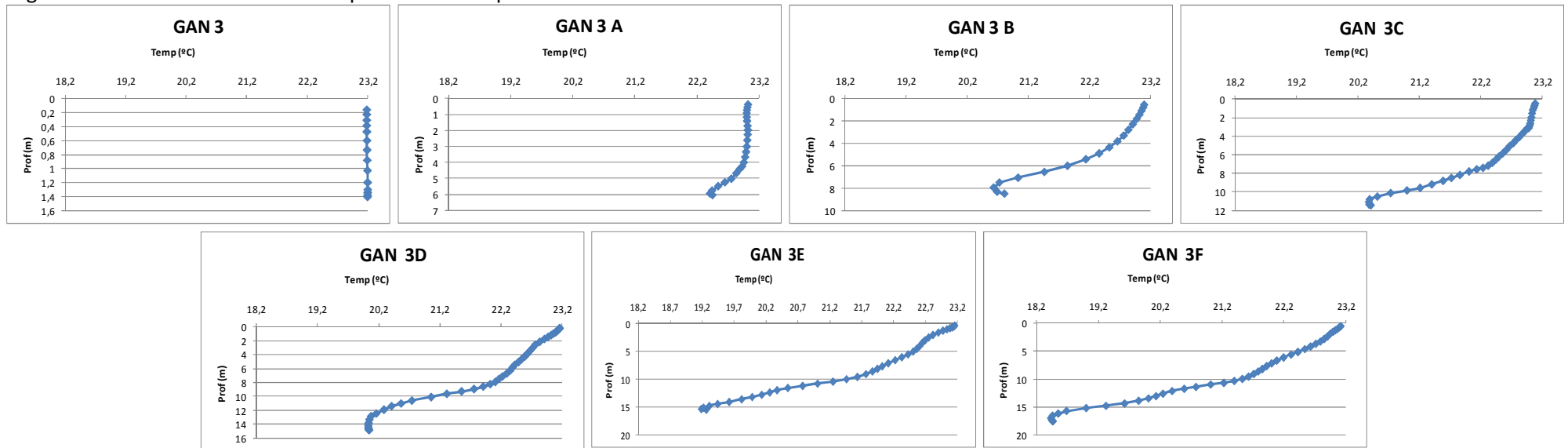
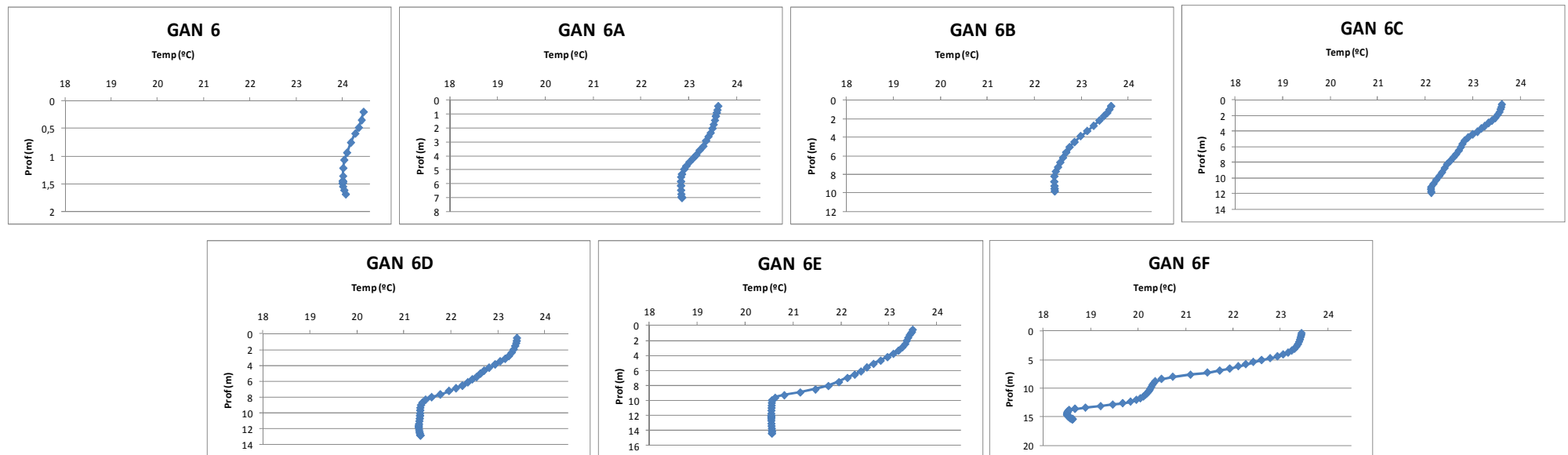


Figura 5.4: Perfiles verticales de temperatura en los puntos de muestreo del transecto 6



ANÁLISIS DE SALINIDAD Y NUTRIENTES EN MUESTRAS DE AGUA SUPERFICIAL

Se realizaron dos transectos, 3 y 6 donde se analizaron los siguientes parámetros: salinidad, amonio, nitrato, silicio, fósforo soluble reactivo y clorofila. Para cada uno de los parámetros se realizan dos gráficos. El primer gráfico (T3 A) contiene todos los puntos tomados en el mar desde la zona de surf (GAN 3G y GAN 6G) hasta el punto más lejano a la costa entre 2500 a 2800 m (GAN 3F y GAN 6F). El segundo gráfico (T3 B) incluye además el punto excavado en la playa, de las aguas subterráneas (GAN 3H y GAN 6H).

En la figura 5.5, se muestra la salinidad en el transecto 3, donde se observa una salinidad sensiblemente creciente en los primeros puntos para después mantenerse constante. Esta pauta es propia de una zona costera, pero debido al poco cambio que experimenta la salinidad (36.2-36.9‰), se puede determinar que es una zona situada a bastante longitud de puntos de agua dulce y en la que se mantiene una mezcla bastante homogénea en superficie. En la figura T3 B además se incluye el punto excavado dentro de la playa (GAN 3H). Se observa que pese a tener una salinidad menor que la observada en el mar, en torno a 32‰, contiene todavía una salinidad demasiado alta para ser un punto situado en tierra, dándonos evidencias de que este punto presenta fenómenos de intrusión salina bien acusados, ya que la salinidad del agua subterránea presente en el punto excavado está próxima a la del mar (36‰).

El transecto 6 representado en la figura 5.6, sigue una pauta similar, a excepción del punto GAN 6G, que está tomado en la zona de rompiente de olas, y pese a ser el punto más cercano a la costa, posee una salinidad mayor que los dos puntos tomados posteriormente (36.9 ‰), además el punto posterior GAN 6 presenta una salinidad muy baja (35.7‰). Cuando incluimos el punto GAN 6H, observamos que la salinidad es mucho menor en ese punto (12.3‰), no solo respecto a los valores de salinidad en el mismo transecto, sino también respecto a los valores del punto excavado en el transecto 3. Esto indica que en el punto de muestreo GAN 3H se producen fenómenos de mezcla entre el agua salada y dulce como consecuencia de la intrusión del agua salada o marina que ha provocado el movimiento del agua salada tierra adentro, desplazando al agua dulce. El agua captada en una zona costera se saliniza, cuando la porción activa de la captación se ve afectada por la zona de mezcla de agua dulce y agua salada o por la propia agua salada (Custodio, 2001).

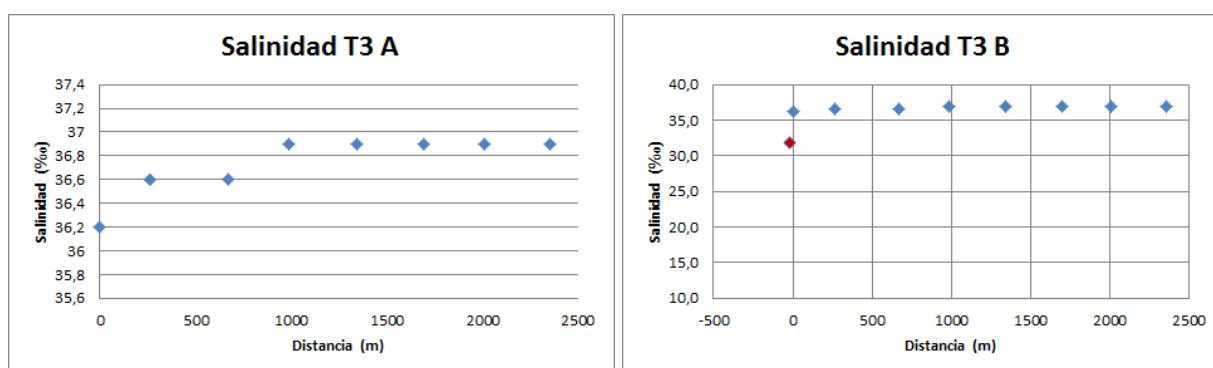


Figura 5.5: Salinidad de los puntos de muestreo del transecto 6 respecto a la distancia desde la costa.

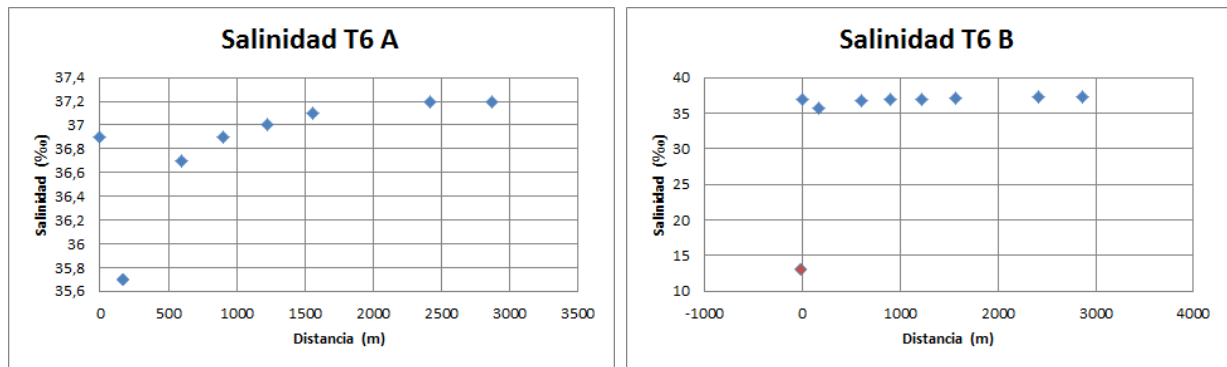


Figura 5.6: Salinidad de los puntos de muestreo del transecto 6 respecto a la distancia desde la costa.

En la figura 5.7 observamos la concentración de amonio a lo largo del transecto 3. A excepción del punto 3G, los valores más altos se sitúan cerca de la costa, y los valores más bajos están más alejados. El primer punto (GAN 3G) presenta valores de amonio muy bajos lo que evidencia un consumo muy alto de amonio y que parece invertir la tendencia del gráfico, aunque los tres puntos siguientes (GAN 3, GAN 3A y GAN 3B) ya poseen valores de amonio muy elevados. Esto es debido a que la mayor parte del amonio procede de aportes continentales, por tanto están introducidos por el agua dulce. También hay que tener en cuenta que este nutriente puede ser aportado en la mineralización de la materia orgánica, pero que también existen procesos que quitan amonio del sistema como la asimilación por parte del fitoplancton, ya que este compuesto es la fuente preferencial de N para el mismo (Margalef, 1995) y la nitrificación donde es oxidado a nitrito y nitrato. Por lo tanto la cantidad total de amonio encontrada en cada punto del transecto es el resultado de los aportes menos las eliminaciones, lo que otorga variabilidad a la pauta general observada. En el punto G3H, que se toma dentro de la playa, se observa una cantidad de amonio muy superior a la de los puntos tomados en el mar. Cuanto mayor es el contenido en agua dulce continental la cantidad de amonio es mayor, de ahí que este valor se destaque del resto.

En el transecto 6 (figura 5.8) se observa una pauta más típica para el amonio ya que a grandes rasgos el amonio va descendiendo conforme nos alejamos de la costa. Los puntos muestran en general una mayor dispersión, pero la tendencia respecto a la distancia de la costa se distribuye conforme a lo esperado. Cuando incluimos el punto GAN 6H se observa que el valor es muy superior a los otros puntos del transecto, pero es similar al punto excavado en la costa en el transecto 3 (GAN 3H).

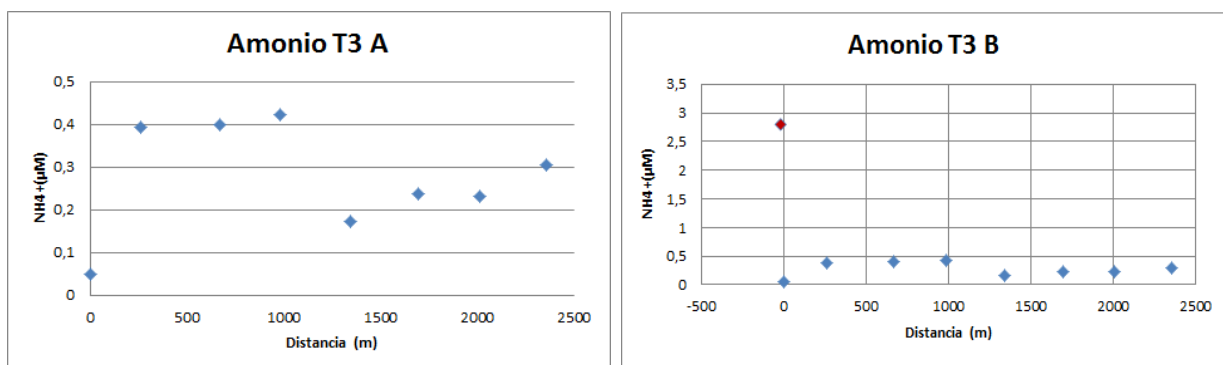


Figura 5.7: Concentración de amonio a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 3.

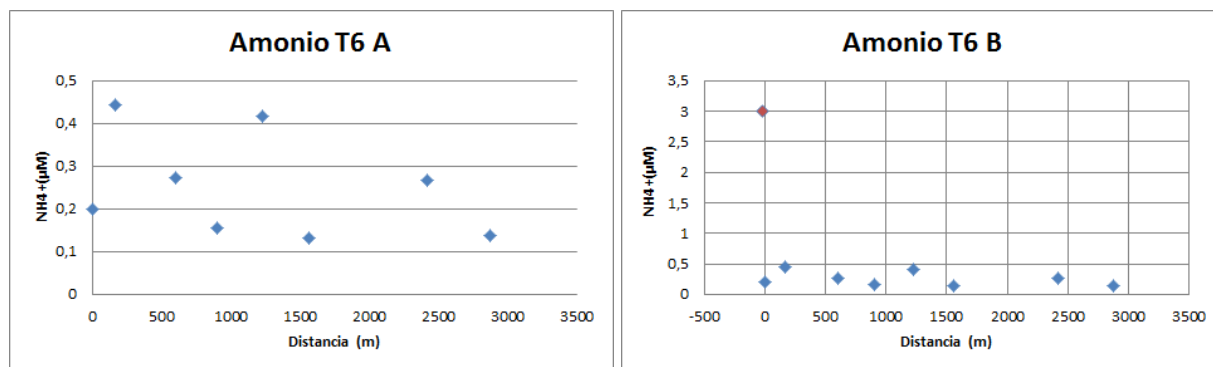


Figura 5.8: Concentración de amonio a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 6.

Como observamos en la figura 5.9, del nitrito en el transecto 3, este compuesto sigue una pauta general más o menos decreciente conforme nos alejamos de la costa, aunque los datos son muy dispares. El nitrito se considera una sustancia más o menos tóxica (Margalef, 1995), pero puede ser asimilado por el fitoplancton en presencia de luz y a bajas concentraciones. El nitrito es uno de los compuestos intermedios en el proceso de la nitrificación del amonio a nitrato producido principalmente por las bacterias nitrificadoras (Rodríguez, 2010). Por lo tanto, un aumento en la concentración de nitrito podría ser consecuencia de una mayor velocidad de oxidación del amonio producida principalmente por bacterias del género *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*, como de una menor velocidad de oxidación del nitrito a nitrato producida mayormente por bacterias del género *Nitrobacter*. Al incluir el punto excavado en la costa (GAN 3H) observamos mayor concentración de nitritos en las aguas subterráneas, debido a que estas aguas poseen más concentración de nitrato que las aguas marinas.

En la figura 5.10, el transecto 6 muestra una pauta similar del nitrito a la del anterior transecto pero con valores menores y una tendencia más suavizada. Estos valores pueden deberse a un mayor consumo por parte del fitoplancton, o a mayor actividad de las bacterias nitrificantes que utilizan el nitrito y lo oxidan a nitrato. Observamos al incluir el punto excavado (GAN 6H) que nos da un valor muy alto, debido a que el contenido de nitritos en aguas dulces es mayor que en las aguas marinas, pero no solo eso, ya que este valor posee un valor de nitritos en torno a cuatro veces más el valor del punto de muestreo excavado en el transecto 3 (GAN 3H). Esto es debido a que este punto tiene una proporción mayor de agua dulce, como observamos en la figura de salinidad y por tanto contiene mayor concentración de nitritos en suspensión.

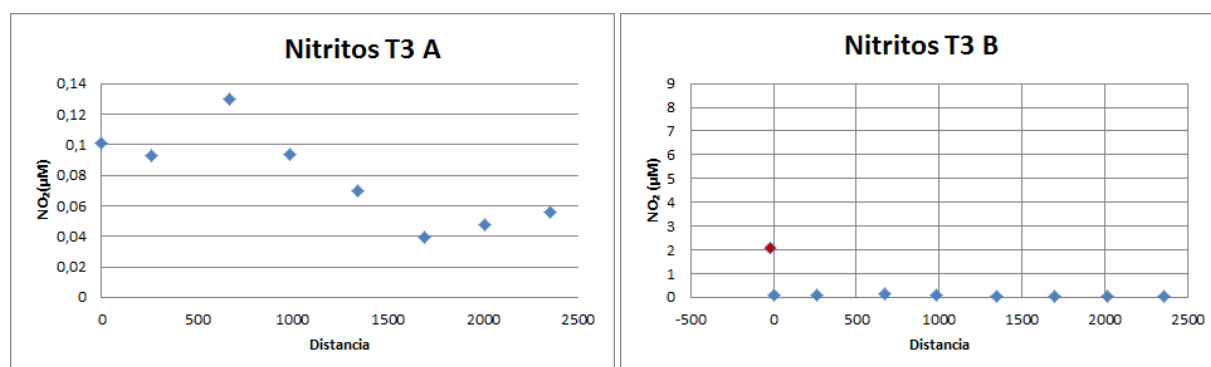


Figura 5.9: Concentración de nitritos a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 3.

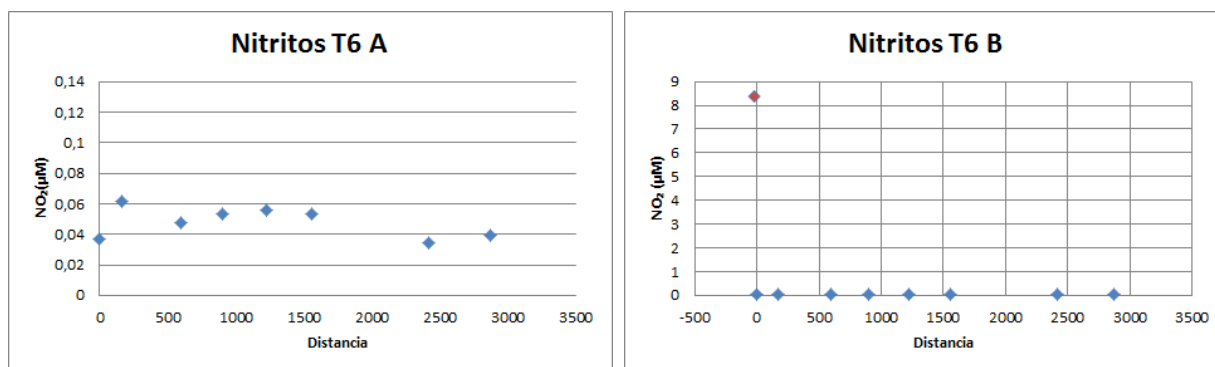


Figura 5.10: Concentración de amonio a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 6.

Observamos en general en la figura 5.11, que los valores de nitratos ($2-7\mu\text{M}$) son mayores que los valores de nitritos ($<0,15\mu\text{M}$). Esto ocurre porque es natural encontrar la mayor fracción en forma de nitrato, que es precisamente la forma más oxidada (Margalef, 1995). Las proporciones entre las distintas formas son expresión de la marcha de los procesos biológicos. Mediante la nitrificación, los nitritos pasan a nitratos que se acumulan en el medio, tan solo consumidos en el presencia de luz por el fitoplancton (Rodríguez, 2010). Debido a que los nitratos están íntimamente relacionados con los nitritos, encontraremos por tanto un perfil similar en este transecto. Observamos que los valores más altos se sitúan en zonas más próximas al continente y van disminuyendo a medida que nos alejamos de la costa. Esto se debe a la menor influencia del agua dulce en los puntos más lejanos y a los posibles procesos de asimilación del fitoplancton. En el gráfico T3 B encontramos GAN 3H con un valor muy superior de nitratos, respecto incluso al valor encontrado en el punto de muestreo GAN 6H (figura 5.12), con una salinidad más baja, podría deberse a que el agua dulce contenida en el acuífero está contaminada por aportes de nitrato en los campos de cultivo, ya que el nitrato es la base fundamental de los abonos. Los nitratos actualmente constituyen la mayor fuente de contaminación difusa de las aguas, y pueden suponer un problema no solo porque puede provocar toxicidad aguda en seres humanos, sobre todo niños (Bryson & Broeckman, 1989) sino por la facilidad con la que puede contaminar las aguas subterráneas. El nitrato es soluble en agua, y solo es retenido por la fase sólida del suelo mientras lo sea el agua, por lo cual este anión puede lixiviarse fácilmente y alcanzar los acuíferos de agua subterránea, pudiendo permanecer allí por décadas (Nolan, 1999).

Los valores de nitrato en el transecto 6 (figura 5.12), tienen una pauta muy similar a los valores obtenidos en el transecto anterior. El contenido en nitratos se distribuye de manera decreciente conforme nos alejamos de la costa. En el punto excavado GAN 6H, el valor de nitratos es superior al resto, debido a la cantidad de nitratos en aguas dulces, pero no posee un valor tan elevado como GAN 3H.

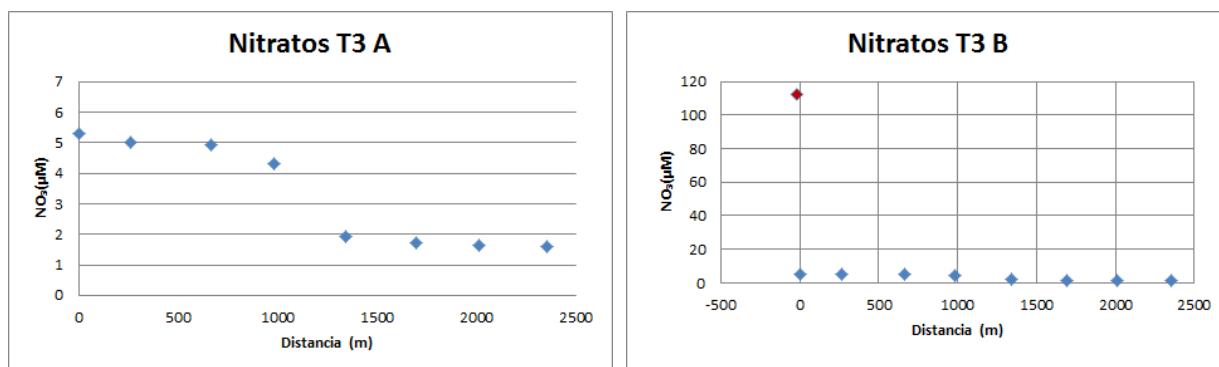


Figura 5.11: Concentración de nitrato a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 3.

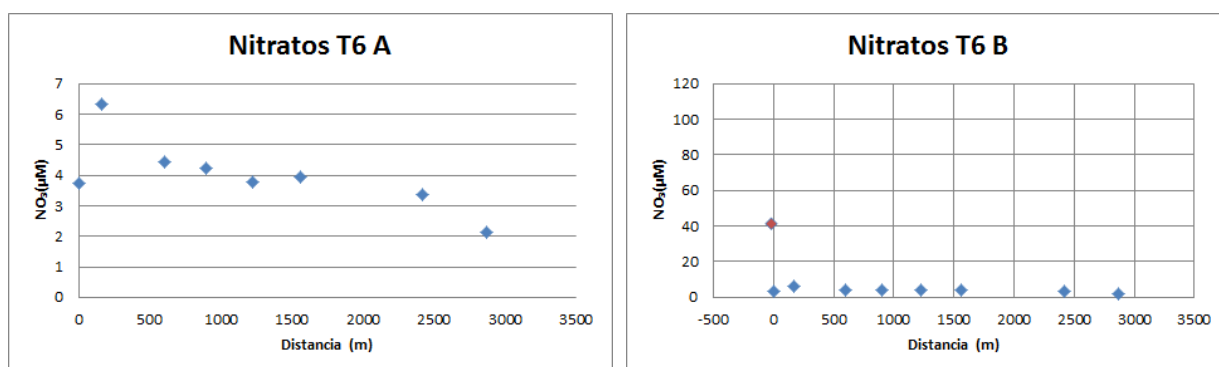


Figura 5.12: Concentración de nitratos a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 6.

En la figura 5.13, del transecto 3 observamos cómo el silicio va disminuyendo progresivamente de forma muy uniforme conforme nos alejamos de la costa, esto es debido a que la mayoría del silicio procede de aportes continentales, normalmente suministrado por aguas dulces en los cauces de los ríos. El silicio en ambientes marinos suele ser bajo, y más en las capas superficiales, donde es aprovechado por las diatomeas principalmente para construir sus estructuras (Margalef, 1995). El punto de muestreo excavado en el suelo GAN 3H como se representa en el gráfico T3 B tiene valores de silicio muy superiores al resto, por encontrarse en aguas continentales. La concentración de silicio en aguas continentales es mayor que en aguas marinas. Su proporción es consecuencia del lavado o erosión de las rocas y su concentración depende del balance entre la tasa de lavado y de dilución. Por lo tanto, la cuenca geológica jugará un papel importante en la carga de silicio y estará muy poco influenciada por la actividad humana.

En el transecto 6 (figura 5.14), sin embargo se muestra una pauta del silicio al alejarnos de la costa más desigual que en el transecto anterior. Aunque sigue un mismo patrón y los valores de silicio conforme nos alejamos de la costa van decreciendo, los últimos puntos experimentan una subida (GAN 6E y GAN 6F), llegando a valores similares incluso a los obtenidos en los puntos más cercanos a la costa (4,8μM en GAN 6F). Estos valores, puesto que nos encontramos en muestras superficiales es difícil que se trate de aportes de aguas subterráneas, por lo tanto estimamos que estas altas concentraciones de silicio están producidas o bien por una mayor redisolución de la sílice contenida en las frústulas de las diatomeas (muy importantes en el ciclo biogénico del Si) o bien por una menor asimilación por

parte de aquellos organismos que utilizan este elemento como nutriente. El punto de muestreo excavado en el suelo GAN 6H, como se representa en el gráfico T6 B tiene valores de silicio muy superiores al resto, por encontrarse en aguas continentales. La concentración de silicio en aguas continentales es mayor que en aguas marinas. Su concentración varía tanto espacial como temporalmente, encontrándose generalmente en exceso respecto al nitrógeno y fósforo.

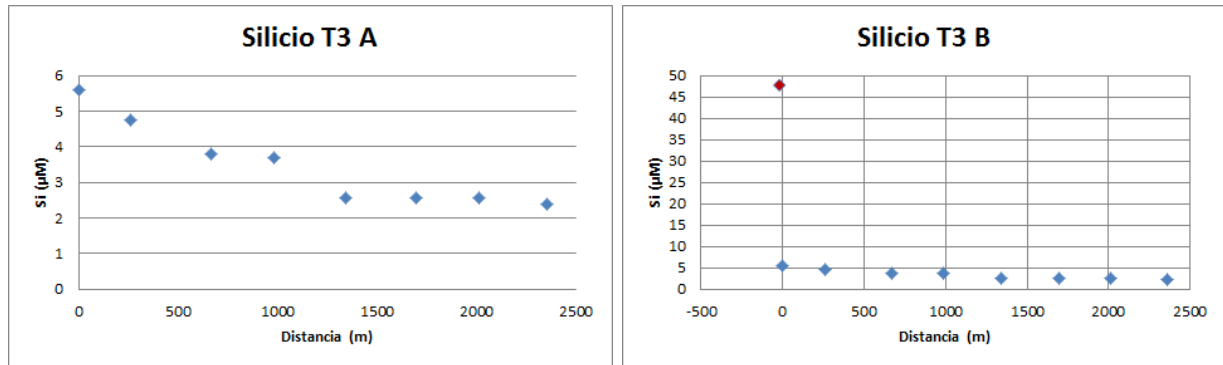


Figura 5.13: Concentración de silicio a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 3.

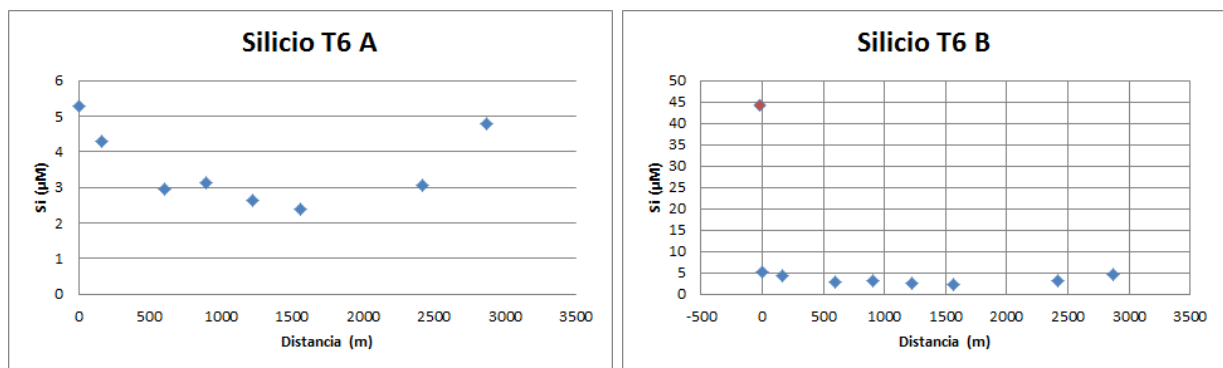


Figura 5.14: Concentración de silicio a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 6.

El rasgo más destacable del fósforo es la inexistencia de una reserva atmosférica significativa, estando su presencia limitada a partículas de polvo (Rodríguez, 2010). En el agua de mar, una gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos de fósforo pueden ser asimilados por los organismos vivos, siendo el ortofosfato la forma preferida (Migon & Sandroni, 1999).

Observamos en el transecto 3, una dinámica de concentración de fosfato más o menos creciente conforme nos alejamos de la costa (figura 5.15), con unas concentraciones muy bajas a lo largo del transecto debido a que éste es el nutriente limitante en el Mar Mediterráneo (Siokou-Frangou et al. 2010). Los aportes de fósforo además de por las aguas continentales, se obtienen por la mineralización de la materia orgánica presente en la columna de agua, sobre todo los ésteres de azúcares y los fosfolípidos y polifosfatos, que se liberan por la muerte o exudación del fitoplancton y son incorporados relativamente rápido. Es debido a esos fenómenos por los que puede que obtengamos valores más altos de fósforo en puntos más alejados de la costa (GAN 3E y GAN 3F). En el gráfico T3 B, observamos que el punto que pertenece al agua continental (GAN 3H), muestra valores altos de fósforo, lo que demuestra en este caso una importante fuente de fósforo por aportes de agua terrígena. Por tanto

deducimos que la absorción de fósforo en las zonas más próximas a la costa por el fitoplancton es muy elevada.

En la figura 5.16, a excepción de GAN 6G, observamos de nuevo un aumento del fósforo cuando nos alejamos de la costa, con valores algo superiores a los del transecto 3. En este caso se producen valores más discordantes a la dinámica general, ya que el primer punto (GAN 6 G), tiene un valor muy superior de fósforo que el resto. En este caso y al estar tan cercano a la costa podemos deducir que existe una mineralización de la materia orgánica debido a la muerte o exudación del fitoplancton abundante localmente. Cuando añadimos el punto de muestreo excavado (GAN 6H) en el gráfico T6 B observamos un valor de fósforo bajo ($0.04\mu\text{M}$), respecto al valor de 3H (figura 5.15). Además hay que tener en cuenta que el fósforo es un nutriente que proviene de aportes continentales y que en este caso las aguas de su entorno marino contienen valores de fósforo desde $0,01\mu\text{M}$ a $0,06\mu\text{M}$ en ese mismo transecto.

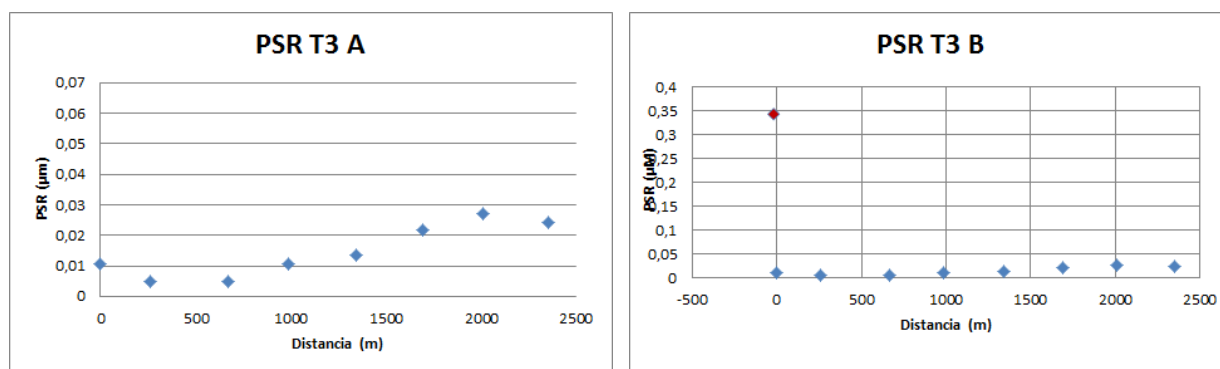


Figura 5.15: Concentración de fosfato a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 3.

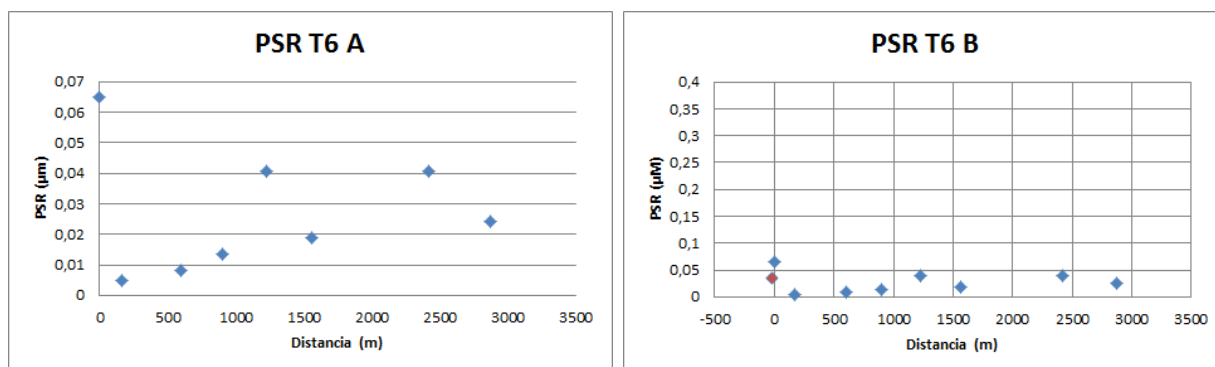


Figura 5.16: Concentración de fosfato a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 6.

La clorofila es un indicador de la biomasa fitoplanctónica. La cantidad de clorofila está condicionada por la disponibilidad de nutrientes entre otros factores. En el transecto 3 observamos cantidades de clorofila en torno a $1\mu\text{g/l}$, relativamente homogéneas desde la costa hasta los valores detectados mar adentro (figura 5.17).

Sin embargo en el transecto 6 (figura 5.18) observamos, a excepción del punto GAN 6G, valores más bajos que en el transecto 3 entorno a $0.5\mu\text{g/l}$. En el punto más cercano a la costa, destaca un valor muy alto que podría ser consecuencia de las mayores concentraciones de PSR observadas, al actuar como nutriente limitante permite un mayor crecimiento del fitoplancton.

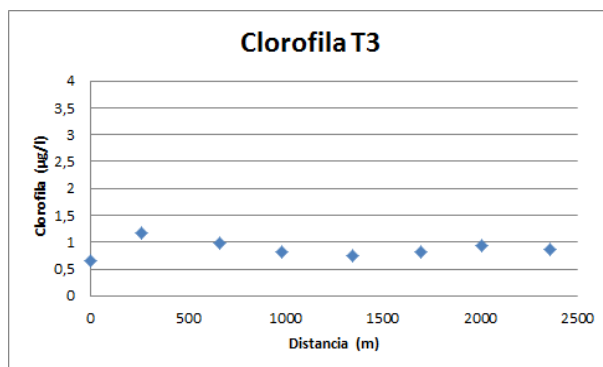


Figura 5.17: Concentración de clorofila a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 3.

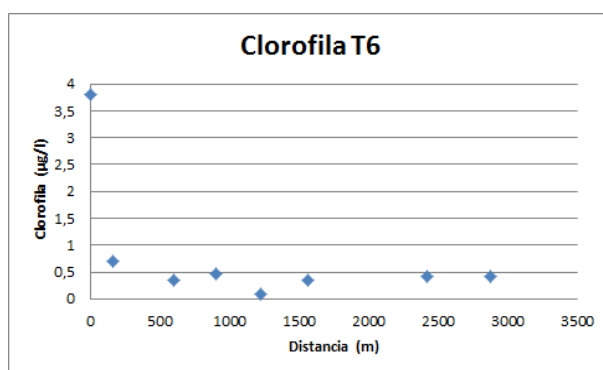


Figura 5.18: Concentración de clorofila a lo largo de los puntos de muestreo del transecto 6.

GRÁFICOS NUTRIENTES VS SALINIDAD EN LOS TRANSECTOS PERPENDICULARES A LA COSTA

A continuación se muestran los gráficos nutrientes vs salinidad, que indican la concentración del nutriente respecto a la salinidad para los diferentes compuestos analizados (Amonio, nitrito, nitrato, silicio y fósforo soluble reactivo) en los puntos de muestreo situados en los transectos 3 y 6.

El amonio es un compuesto nitrogenado que interviene en numerosos procesos bioquímicos. Se observa en los gráficos del amonio respecto a la salinidad (figura 5.19) que en el transecto 3 los valores más altos de amonio corresponden a los puntos GAN 3, GAN 3A y GAN 3B, que son los puntos más cercanos a la costa confirmando que el amonio proviene de los aportes de agua dulce mayoritariamente, excepto el punto más cercano a la costa, que está situado en la rompiente de olas (GAN 3G), que es el punto con menor concentración. Este punto puede contener una cantidad tan baja de amonio debido a una alta demanda producida por las bacterias nificadoras y consumo de fitoplancton al estar en abundancia puntual de otros nutrientes. Sin embargo observamos que a lo largo del gradiente de salinidad los puntos no se ubican en torno a una recta, lo que indicaría sólo una mezcla física de dos masas de agua con distintas concentraciones, si no que existen fundamentalmente ganancias sugiriendo que múltiples procesos podrían estarse produciendo como la mineralización y excreción de los

organismos. Observamos en el gráfico T 3B, que el punto añadido, GAN 3H, posee valores de amonio muy superiores, al estar excavado en la playa íntimamente ligado a los valores de amonio continentales.

Respecto a la figura 5.20, que muestra los valores del transecto 6, observamos que el segundo punto más cercano a la costa, GAN 6, se destaca sobre el resto y muestra una concentración un poco más elevada a las obtenidas en el transecto 3. Nuevamente en este caso se aprecian ganancias a lo largo del gradiente salino (principalmente en GAN 6C y menos en GAN 6E) que podrían deberse a que existen procesos de producción de amonio por la mineralización y excreción de los organismos. El gráfico T6 B, que contiene el punto GAN 6H, muestra este punto excavado en la arena con valores superiores al resto del transecto ($3\mu\text{M}$), pero una cantidad de amonio muy similar a la que observamos en el punto GAN 3H ($2,8\mu\text{M}$), en el gráfico T3 B (figura 5.19).

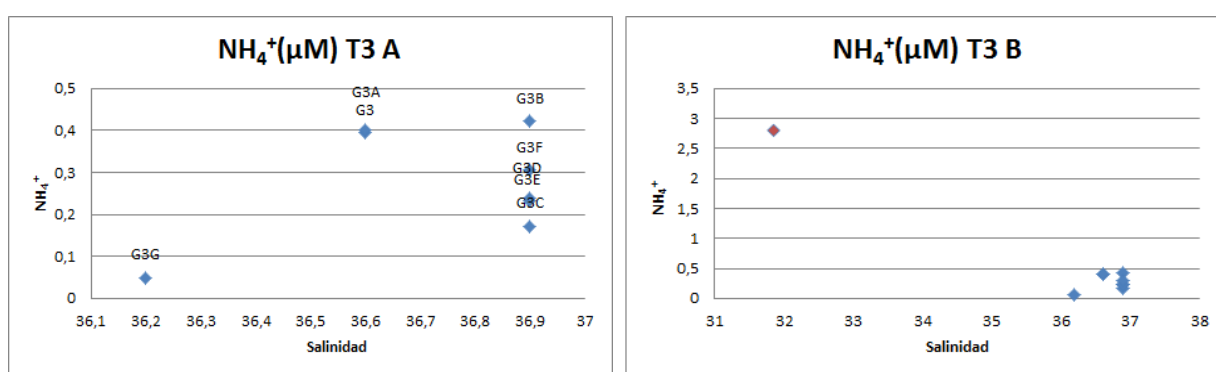


Figura 5.19: Concentración de amonio respecto a la salinidad en el transecto 3

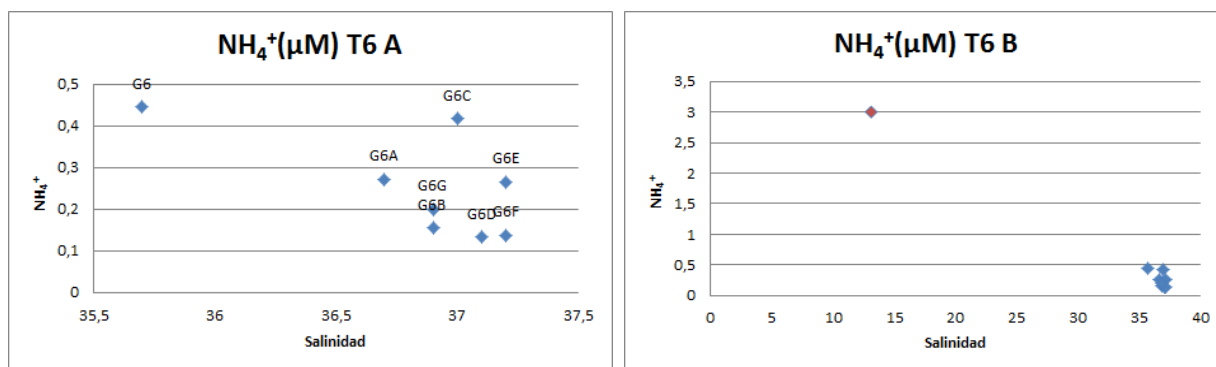


Figura 5.20: Concentración de amonio respecto a la salinidad en el transecto 6

Respecto a los valores de nitritos en el transecto 3 (figura 5.21), podemos ver valores de nitrito altos en los puntos más cercanos a la costa GAN 3A, GAN 3G y GAN 3B, esto es debido a que el nitrito proviene en gran parte de aportes continentales además de que está muy ligado a la cantidad de amonio presente en el medio, como paso intermedio en la nitrificación. Los puntos GAN 3A y GAN 3B sugieren ganancias probablemente como consecuencia de una mayor oxidación de amonio en esos puntos o exudación de nitritos por parte de organismos y/o una menor oxidación a nitrato. El gráfico T3 B, muestra un valor de nitrito en las aguas continentales moderadamente alto ($2\mu\text{M}$), ya que este tipo de aguas poseen valores de nitritos más altas que las aguas en alta mar.

Los valores del transecto 6 (figura 5.22) poseen concentraciones de nitrito menores a las del transecto 3, con concentraciones parecidas entre los puntos del transecto, situados más o menos a lo largo de una recta indicando que la mezcla física es el proceso dominante. Por lo general los valores más altos de nitritos coinciden con los puntos de muestreo más cercanos a la costa, siendo el valor máximo 0,06 μM , correspondiente al punto más cercano a la costa GAN 6. El valor de nitritos en el punto excavado en la costa sin embargo es muy elevado con una concentración de 8,38 μM , justificando así los valores más altos en zonas más próximas a la costa.

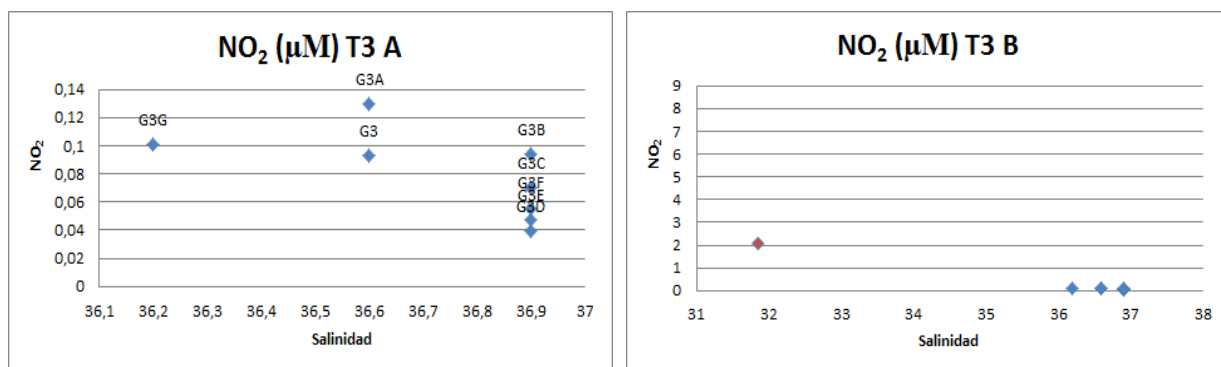


Figura 5.21: Concentración de nitrito respecto a la salinidad en el transecto 3

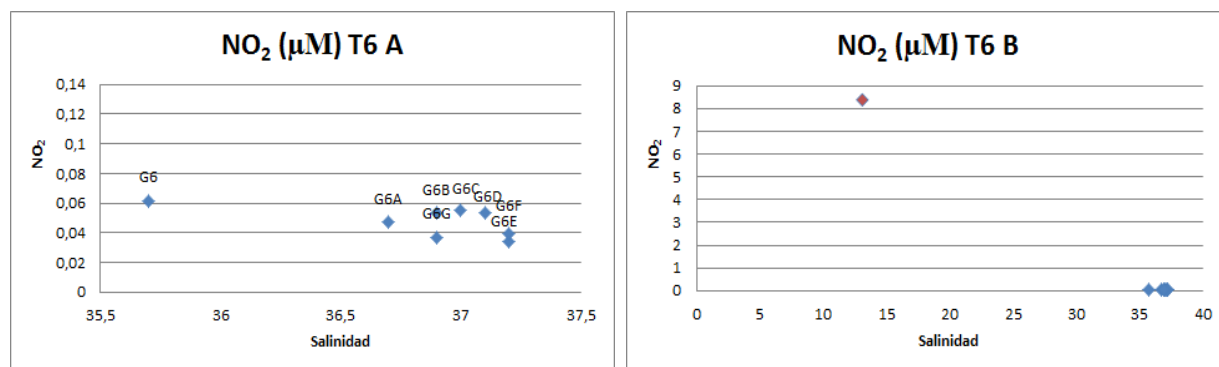


Figura 5.22: Concentración de nitrito respecto a la salinidad en el transecto 6

En el caso de los nitratos en el transecto 3, podemos observar en la figura 5.23 que predominan las ganancias a lo largo del gradiente salino (GAN 3, GAN 3A y GAN 3B) probablemente consecuencia de la nitrificación del amonio producido en la mineralización de la materia orgánica. En la gráfica T3 B, observamos como los valores presentes en los puntos de muestreo en el mar, de 1 a 5 μM aprox. son muy inferiores al punto excavado en la costa, que tiene una cantidad de nitratos en torno a 110 μM , este punto tan elevado tiene que ser debido a procesos antrópicos, ya que es una cantidad muy elevada para producirse de forma natural en estas condiciones. Probablemente se esté produciendo un lixiviado con altos contenidos de nitrato provenientes de áreas donde se desarrolla la agricultura intensiva, que es la principal fuente de contaminación de las aguas por nitratos (Gutiérrez et al. 1982).

En la figura 5.24 muestra el nitrato en el transecto 6, se observan como los valores más cercanos a la costa son los que más nitratos contienen por regla general, GAN 6, seguido de GAN 6A y GAN 6B, con el primero destacando del resto (6,3 μM). También se observa cómo la

mayor parte de los puntos se sitúan en torno a una recta indicando una mezcla física con pequeñas dispersiones entre estos a causas de pequeñas ganancias a causa de una posible nitrificación. El punto GAN 6 H, que se muestra en el gráfico T6 B, posee una cantidad de nitrato mayor al resto (41 μM), pero en un valor más moderado que en el punto de muestreo tomado en las mismas condiciones que GAN 3 H (figura 5.23).

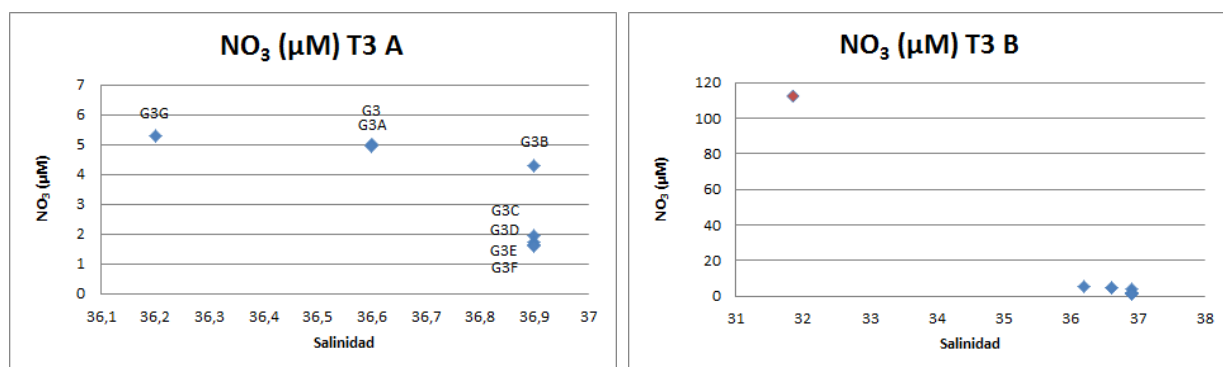


Figura 5.23: Concentración de nitrito respecto a la salinidad en el transecto 3.

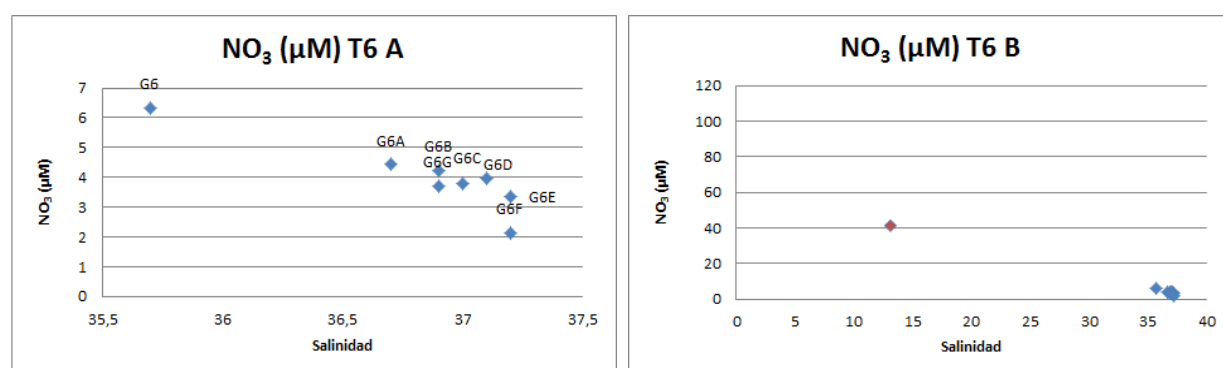


Figura 5.24: Concentración de nitrato respecto a la salinidad en el transecto 6

En el transecto 3 (figura 5.25), se observan las concentraciones de silicio respecto a la salinidad. Este gráfico muestra que se producen ganancias en los puntos GAN 3 y GAN 3B, probablemente como consecuencia de la redisolución de sílice biogénica. En el gráfico T3 B al incluir el punto GAN 3 H, se puede observar una cantidad mayor de silicio que el resto, como hemos comentado en las gráficas de los nutrientes respecto a la distancia, los valores de silicio en las aguas continentales son mayores que en aguas marinas y su concentración depende del balance entre la tasa de lavado y de dilución.

Respecto al silicio en el transecto 6 (figura 5.26), nuevamente se aprecian ganancias con concentraciones más altas de nuevo en puntos cercanos a la costa, como GAN 6G (5,3 μM), pero también se observa un valor elevado en el punto situado a mayor distancia, GAN 6 F (4,8 μM). Esto puede ser debido a la descomposición de las diatomeas que provoca una situación de riqueza puntual de silicio. En el gráfico T6 B, en el que incluye el punto GAN 6 H, se observa un valor muy similar al del transecto 3 (GAN 3H, figura 5.25), estando en torno a los 44,3 μM .

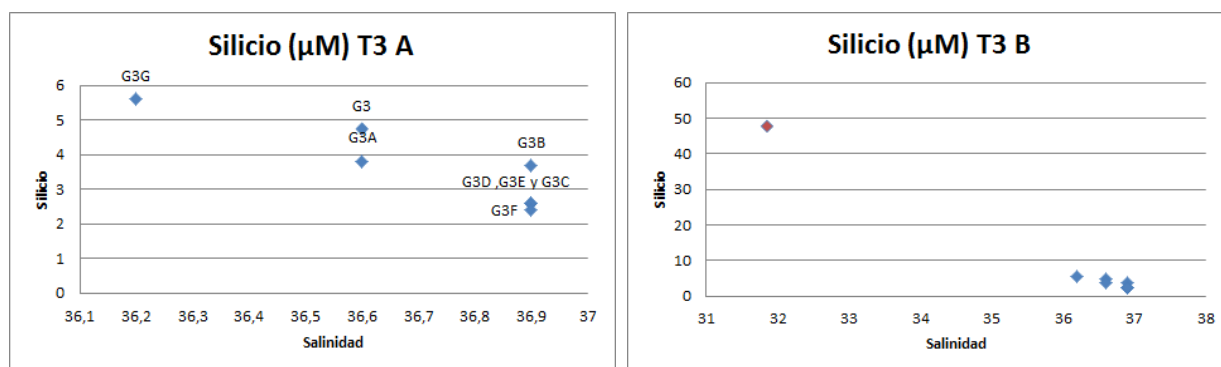


Figura 5.25: Concentración de silicio respecto a la salinidad en el transecto 3

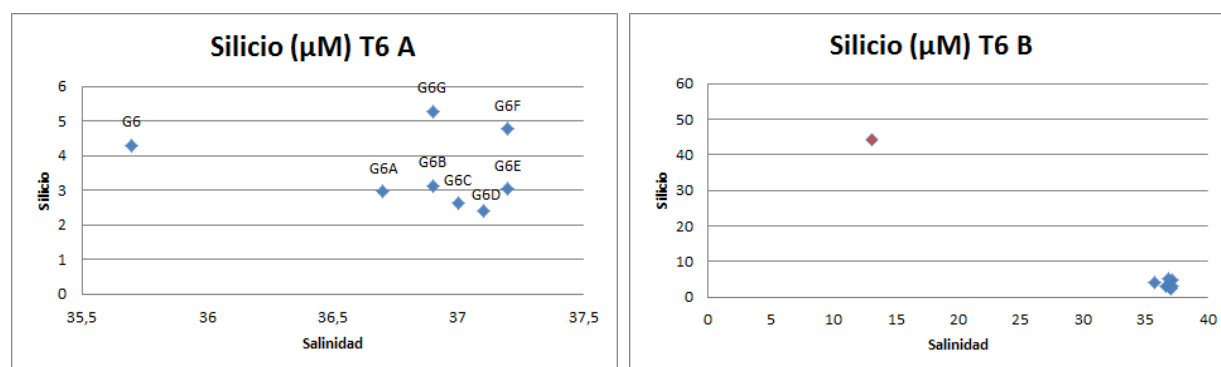


Figura 5.26: Concentración de silicio respecto a la salinidad en el transecto 6

El fósforo soluble reactivo es un nutriente escaso, en comparación con los demás nutrientes estudiados en el agua marina. Principalmente se encuentra en forma disuelta e inorgánica como fosfato, el cual puede ser fijado por los organismos autótrofos o adsorbido con las arcillas o a compuestos de hierro para formar el oxihidróxido de hierro, con el calcio o en forma de fluoroapatita para precipitar en el sedimento en condiciones aerobias. Esos precipitados pueden ser reducidos en situaciones anaerobias liberándose de nuevo a la columna de agua. La figura 5.27 muestra los valores de fósforo respecto a la salinidad en el transecto 3, se observa que existen valores bajos de fósforo, lo cual era esperado en un ambiente marino, pero también observamos que se dan ganancias en los puntos con mayor salinidad, situados a mayor distancia de la costa (GAN F, GAN E y GAN D). Esto puede ser debido a que la zona costera es muy pobre en fósforo y mar adentro el fitoplancton podría generar fósforo disponible por su descomposición y sus excreciones. En el gráfico T3 B observamos una gran concentración de fósforo en el agua continental. Esto indica que los aportes de agua terrestre sí que contienen valores altos de fósforo, y por lo tanto que existirá una gran actividad del fitoplancton en la zona costera que genera un consumo muy elevado del mismo.

En el transecto 6, (figura 5.28) el fósforo es más abundante que en el anterior transecto, siendo de nuevo los puntos más alejados de la costa GAN 6E y GAN 6C (0.04 µM), los que presentan mayores concentraciones de fósforo en general a excepción de GAN 6G (0.07 µM) que es el punto más cercano a la costa, situado en la zona de la rompiente de olas, y que tiene un valor muy superior. Esto puede ser debido a que en la zona más salina hay mayor

mineralización de la materia orgánica que absorción por parte del fitoplancton. En el gráfico T6 B, se muestra el contenido de fósforo en las aguas continentales, en este caso el punto GAN 6H muestra un valor muy pequeño ($0.04 \mu\text{M}$), lo que significa que las aguas provenientes del continente poseen cantidades de fósforo muy bajas, y por tanto que la zona de costa contiene aportes de fósforo por las aguas limitantes para el desarrollo del fitoplancton.

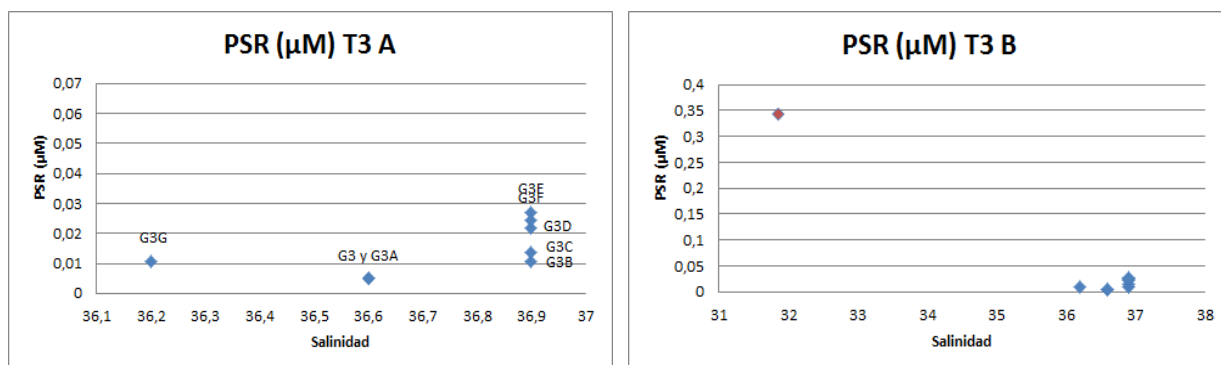


Figura 5.27: Concentración de fósforo respecto a la salinidad en el transecto 3

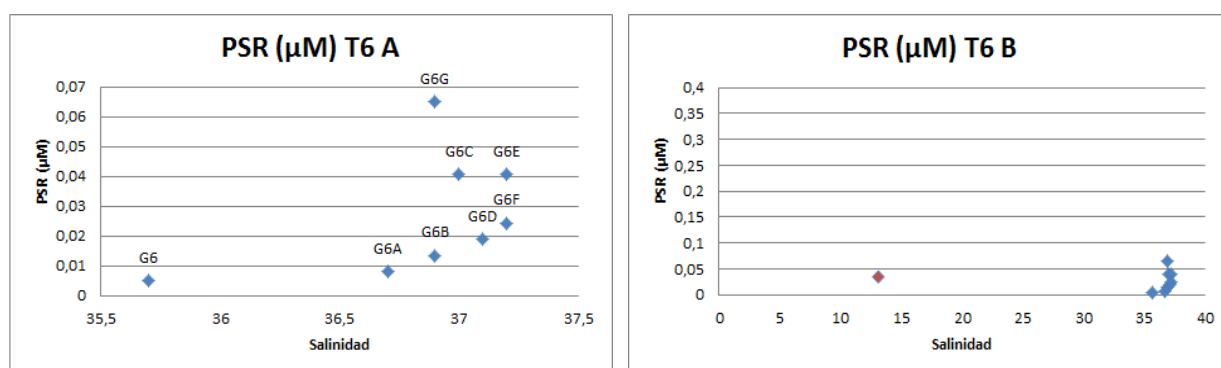


Figura 5.28: Concentración de fósforo respecto a la salinidad en el transecto 6

Muestreo de zona de surf desde Cullera hasta Denia

A continuación se muestran los datos de salinidad y nutrientes obtenidos en el laboratorio de los puntos de muestreo que se definieron a lo largo del litoral de toda la zona de estudio (GAN1, GAN2, GAN3G, GAN4, GAN5, GAN6G, GAN7 y GAN8), así como el punto de muestreo control (GAN 9), que está tomado aproximadamente 10 km mar adentro.

Como se observa en la figura 5.29, los puntos de muestreo repartidos a lo largo de toda la costa poseen salinidades comprendidas entre 33 y 37 ‰. El punto que muestra menor salinidad claramente es el punto GAN 1 (33,4 ‰), situado cerca de la desembocadura de río Júcar a unos 1000 m al sur. El Júcar es un río relativamente caudaloso con $28.67 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua, promedio entre el 1 y 9 de junio de 2010 (el muestreo se realizó los días 8 y 9 de junio), y una desembocadura de 81m de ancho que produce una amplia dispersión del agua dulce. De hecho a lo largo de toda la zona de muestreo no encontramos un río de semejantes características. Es importante destacar que la corriente en Levante se dirige hacia el SW, bordeando la costa peninsular española (Cognetti et al. 2001), lo que determina el transporte

de agua dulce. En el punto GAN 1, con el río Júcar al norte, si que se producirá una influencia directa sobre el punto de muestreo.

El punto GAN 2 también presenta una salinidad por debajo de los 36‰, esta zona se encuentra bastante aislada de desembocaduras de ríos, acequias y barrancos, situada en la playa turística de “Tavernes de la Valldigna” una playa bastante urbanizada. Tan solo se observa un canal que está situado a 1,5 km al norte de este punto y que podría suministrar parte de su agua de vertido. También es posible que pueda estar llegando agua dulce procedente del río Júcar, que se encuentra a 7.3 km aproximadamente al norte.

Además de estos dos puntos, encontramos a mayor salinidad GAN 3G (36,2‰) y GAN 4 (36,5‰). El punto GAN 3G está situado a 850m al sur del río Vaca, este es un río poco importante con una longitud de 16.6 Km, que presenta durante la mayor parte del año caudales escasos e incluso inexistentes y que junto a la escasa pendiente que tiene al final, ayuda a la formación de un cordón litoral que dificulta la desembocadura del río y disminuye los caudales de agua que puede desaguar. Durante el mes de junio-julio la barrera arenosa fue de más de 30 m de anchura por lo que el descenso de la salinidad en GAN 3G podría asociarse más bien a aportes de aguas subterráneas. El punto GAN 4 tiene la influencia del segundo río más caudaloso de la zona de estudio, el río Serpis, este río pese a que se encuentra a 1400m al norte, tiene un caudal continuo, muy determinado por el uso que se le da y la pluviometría de la zona. Está situado al norte del punto de muestreo y posee un caudal mínimo ecológico de $0,1\text{m}^3/\text{s}$ (Garofano et al, 2009), con lo cual podría afectar a la salinidad del punto de muestreo.

El punto GAN 5 está situado 300m al sur del puerto de Oliva, que solo está abastecido por alguna acequia y no se presupone con caudales elevados. El punto GAN 6G está influenciado por la marjal de Pego-Oliva que se encuentra a poca distancia tierra dentro (menos de 2 kilómetros del muestreo) y proporcionará puntualmente agua dulce superficial proveniente de su extracción cuando el nivel sea elevado. Además se encuentra a 800m al sur de este punto el río Racós o del Molinell, que es un pequeño río de caudal estacional situado cerca de Oliva, se espera que este río que para esta época del año se encuentre seco o contenga muy poca agua.

El punto de muestreo GAN 7, está en las inmediaciones del río Girona, que se encuentra a 900m al sur, este río nace en el barranco de Fontblanca a 38.6 km de distancia. El escaso caudal del río se infiltra en las calizas de este cañón, desapareciendo del todo durante parte del año. El cono aluvial del río forma una zona inundable, muy intervenida para la construcción. La desembocadura que posee de 17 a 30 metros de ancho, separa los municipios de Denia y “Els poblets”.

Respecto a GAN 8 podemos decir que está influenciado por dos acequias limítrofes que se encuentran a ambos lados del punto de muestreo, al norte a 350m y al sur a escasos 25-30m, aunque no se espera que contengan un caudal muy elevado.

El punto que posee mayor salinidad es por descontado el punto control, que está situado a 10 km de distancia desde la costa, lejos de cualquier aporte de agua dulce (GAN 9). Se puede observar el perfil en la figura 5.30.

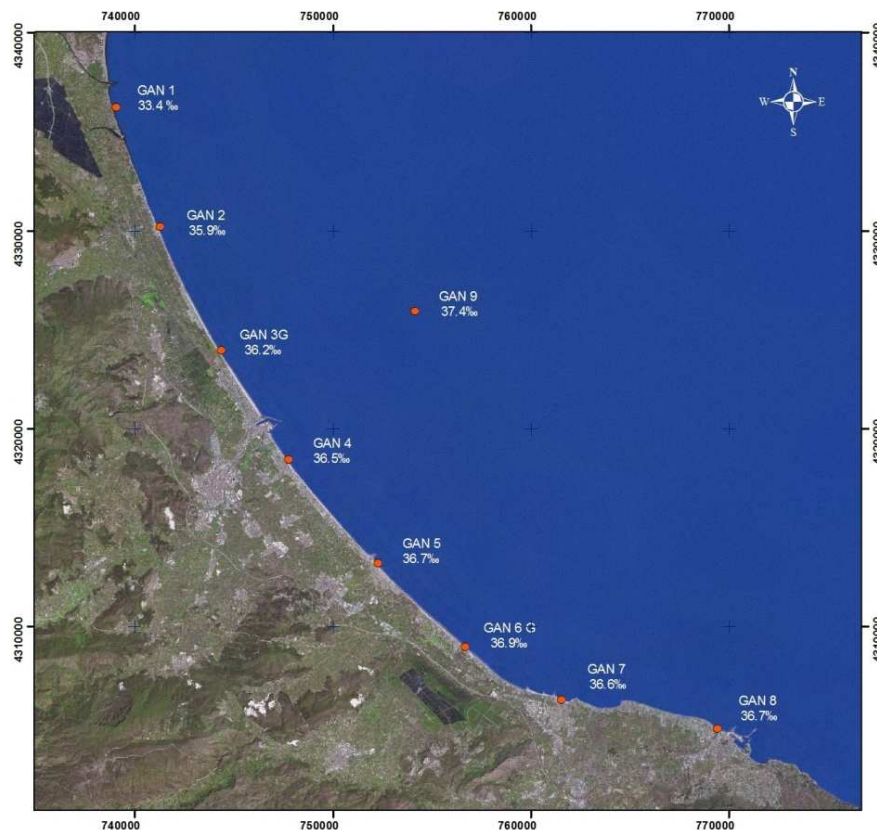


Figura 5.29: Salinidad en los puntos de muestreo tomados en la zona de surf y el punto de referencia.

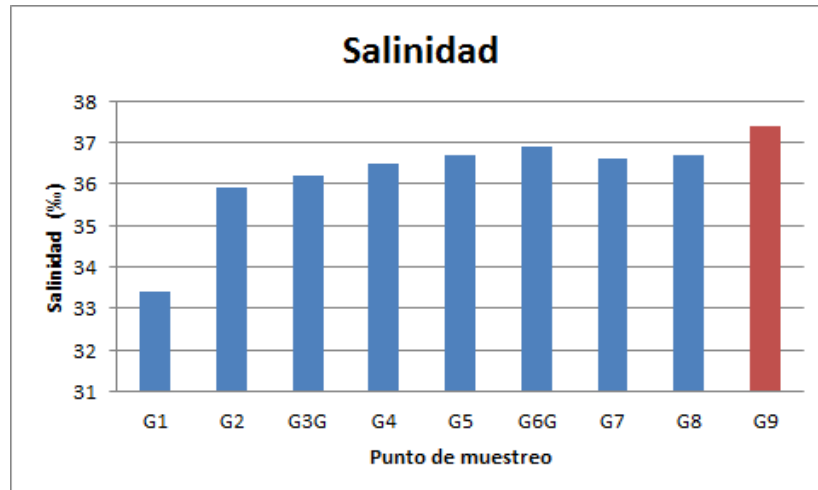


Figura 5.30: Salinidad en los puntos de muestreo tomados en la zona de surf y el punto de referencia.

Observamos en la figura 5.31, la concentración de amonio respecto de la salinidad en los diferentes puntos de muestreo a lo largo de la costa, recordando que los puntos de muestreo se han tomado a la misma distancia de la costa a la altura de la rompiente de las olas, a excepción de GAN 9 que fue tomado como punto de referencia. El amonio se observa en general con pocas diferencias entre los puntos, aunque GAN 1 presenta concentraciones muy superiores al resto ($1,5\mu\text{M}$) destacando entre los demás. Podemos deducir por tanto que este

punto de muestreo estará más influenciado por aportes de aguas terrestres o por otros procesos biológicos como la mineralización y excreción por parte de los organismos presentes. Por otra parte, existen puntos de muestreo con valores muy bajos de amonio como GAN 3G, GAN 2 y GAN 5, que pueden ser debido a una demanda muy alta de las bacterias *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus* responsables de la nitrificación, y/o a un alto consumo del fitoplancton y/o a que los aportes de agua dulce en estos puntos de muestreo se encuentran a mucha distancia como para transmitir amonio a estos puntos.

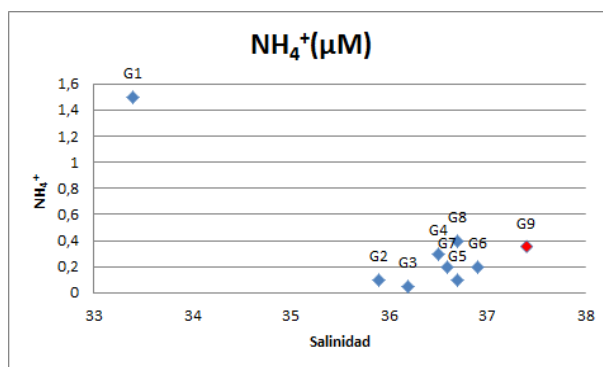


Figura 5.31: Concentración de amonio respecto a la salinidad a lo largo del litoral de la zona de estudio.

Los valores de nitritos de los puntos de muestreo a lo largo de la costa en la figura 5.32 se ubican prácticamente a lo largo de una recta, lo que sugiere que la mezcla física es el proceso dominante. Aparte del valor muy superior de nitritos en el punto GAN 1 ($0,38\mu\text{M}$), observamos una ganancia de nitrito en el punto GAN 7 ($0,21 \mu\text{M}$), que podría estar causada por la exudación de nitrito por parte de los organismos en este punto, o una menor oxidación a nitrato como compuesto clave en la nitrificación.

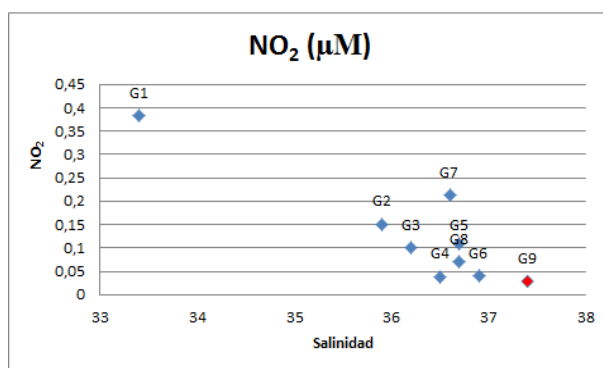


Figura 5.32: Concentración de nitrito respecto a la salinidad a lo largo del litoral de la zona de estudio.

En lo referente a los nitratos, observamos en la figura 5.33, una mayor dispersión entre los puntos de muestreo que en los anteriores compuestos de nitrógeno. Es evidente que GAN 1 ($12,3\mu\text{M}$) sigue teniendo una concentración superior al resto debido a la influencia continental que recibe este punto. En la figura 5.33 se observan ganancias de nitratos en GAN 4 ($8,4\mu\text{M}$) y GAN 5 ($6,9\mu\text{M}$) que pese a tener concentraciones importantes de nitrato no poseen valores destacados de amonio ni nitrito, por lo que estos altos valores podrían deberse a una elevada tasa de nitrificación y/o a que existe un consumo muy bajo de nitratos por parte del fitoplancton.

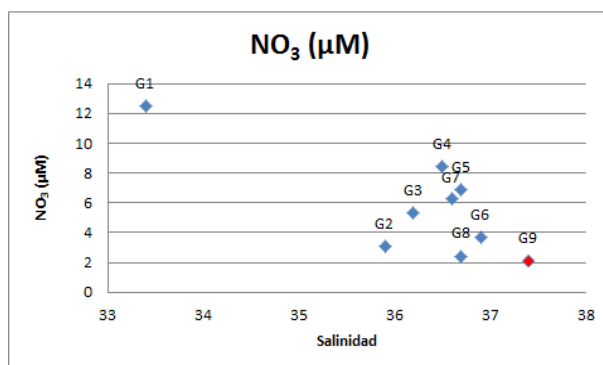


Figura 5.33: Concentración de nitrato respecto a la salinidad a lo largo del litoral de la zona de estudio.

En la figura del silicio respecto a la salinidad (figura 5.34) se observa una dispersión baja y una distribución que se ajusta más o menos a una recta. El silicio es un componente muy importante de la materia biológica marina, ya que su absorción en las formas disueltas es esencial para el crecimiento de las diatomeas, un grupo de fitoplancton silíceo que a menudo domina el conjunto pelágico. La contribución de diatomeas a la productividad primaria global oscila entre un 25 y un 30% en áreas abiertas del océano y hasta un 75% en zonas eutróficas costeras (Nelson et al. 1995). Observamos en esta figura ganancias de silicio en GAN 4 (10,2µM). El punto GAN 1, es el que posee mayores concentraciones de silicio, como de todos los nutrientes, ya que es punto con mayor proporción de agua dulce en la superficie. En este caso, en el punto GAN 4 pese a no tener otro tipo de nutrientes en abundancia salvo nitratos, sí que es posible que este afectado por una surgencia de aguas subterráneas submarinas por su alto contenido en silicio.

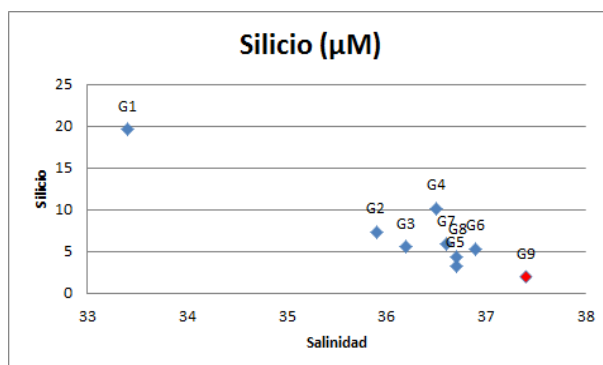


Figura 5.34: Concentración de silicio respecto a la salinidad a lo largo del litoral de la zona de estudio.

Se observa claramente en la figura 5.35 que el fósforo es un nutriente poco abundante en el litoral Mediterráneo, y que se comporta generalmente como nutriente limitante. En esta figura, las concentraciones de los puntos tomados oscilan entre 0.01µM y 0.06 µM, excepto en el punto GAN 9 (0,17µM) que destaca del resto, y que está situado 10 kilómetros mar adentro funcionando como punto control. Observamos para este último punto que el resto de nutrientes presentan valores muy bajos (silicio y compuestos de nitrógeno), al igual que, como veremos, bajos niveles para clorofila. El hecho de que el punto GAN 9 presente valores de P elevados, y bajos de N afecta a la relación N:P. Mientras que en la mayoría de los puntos existe

una relación N:P elevada (siempre mayor que 60), éste es el único punto donde se da una relación en torno a 15, lo que nos proporciona un equilibrio entre los distintos nutrientes.

También encontramos valores altos de fósforo en el punto GAN 6G, este punto sí que presenta una actividad del fitoplancton muy alta, como observamos en figura 5.36 relativo a la clorofila. Es de esperar que este punto por tanto tenga una cantidad de fósforo disponible muy alta y que permita el desarrollo de esa cantidad de fitoplancton. Además de estos dos, otro punto que posee concentración de fósforo elevada es GAN 1 ($0.05\mu\text{M}$), que ya hemos tratado en casi todos los nutrientes y que posee grandes cantidades de fósforo soluble reactivo, nitrógeno y silicio consecuencia de los aportes de agua dulce.

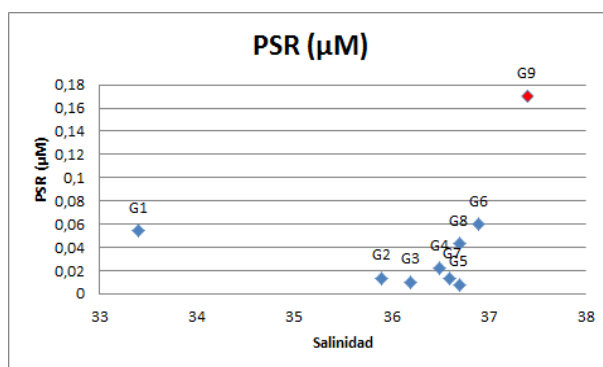


Figura 5.35: Concentración de fósforo respecto a la salinidad a lo largo del litoral de la zona de estudio.

La clorofila se usa como indicadora del fitoplancton que está presente en los diferentes puntos de muestreo. El mar Mediterráneo se considera un mar oligotrófico, y se caracteriza por poseer una baja producción primaria (Margalef, 1985; Minas et al. 1988), aunque recientemente, se ha observado por imágenes de satélite una heterogeneidad espacial y temporal de la distribución del fitoplancton (Morel & André, 1991).

Observamos en la figura 5.36, que contiene los valores de clorofila, que el punto que contiene más cantidad es GAN 6G ($3.8\mu\text{g/l}$). En este punto se da también una concentración alta de fósforo, lo que permite un desarrollo adecuado del fitoplancton. Los puntos GAN 4 ($2.2\mu\text{g/l}$) y GAN 5 ($2.1\mu\text{g/l}$) también poseen cantidades relativamente altas de clorofila. El punto GAN 4 ya había destacado anteriormente por poseer cantidades importantes de silicio (figura. 5.34) y nitratos (figura 5.33), que podrían promover el desarrollo de fitoplancton por su cantidad de nutrientes. El punto 4 se sitúa cerca de la desembocadura del río Serpis, pero no se observa una salinidad mucho menor como para que el caudal de agua dulce del río interfiera de manera notable en este punto, por tanto este crecimiento de fitoplancton podría justificar la incorporación de nutrientes por parte de una surgencia de aguas subterráneas.

El punto GAN 5, en el que también se observa una alta concentración de clorofila, no destaca por tener una abundancia de nutrientes. Esto puede ser debido a que este punto presenta una actividad fotosintética alta, que provoca un alto consumo de nutrientes y limitando la cantidad disponible.

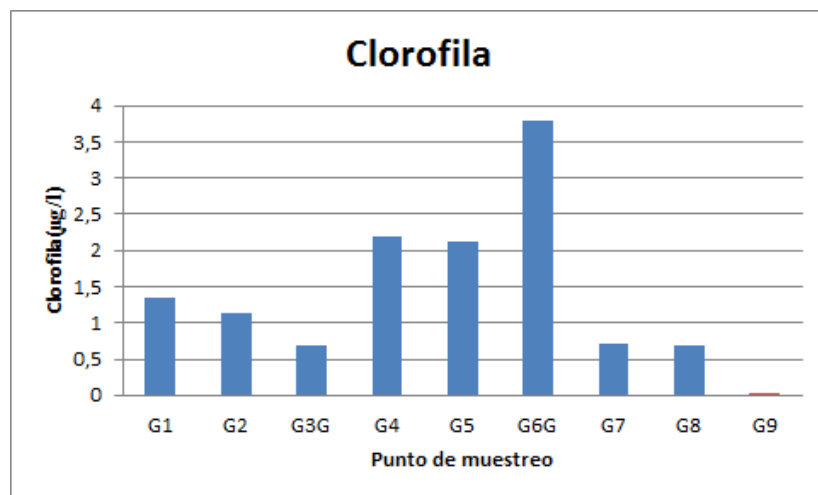


Figura 5.36: Concentración de clorofila en los diferentes puntos de muestreo.

6 CONCLUSIONES

Los últimos 15 años se han desarrollado multitud de estudios para la estimación de la surgencia de aguas subterráneas submarinas (SGD), en especial de métodos para su comparación y calibración. Una de las razones de estos esfuerzos es caracterizar mejor las entradas de agua subterránea submarina en zonas costeras en multitud de ambientes geológicos y evaluar el impacto que tienen sobre los recursos hídricos del mundo.

Nuestro estudio pretendió determinar la presencia de indicios que sugirieran entradas de SGD mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos como temperatura, salinidad y nutrientes (amonio, nitrito, nitrato, silicio y fósforo) además de otros parámetros como la clorofila.

Se realizaron dos transectos perpendiculares a la costa uno frente a la playa de l'Ahuir (transecto 3) en Gandia y el otro en la playa de Oliva (transecto 6) frente a la urbanización San Fernando donde se analizaron distintos puntos que van desde aguas subterráneas tomadas 20 m tierra adentro, zona de surf, y a distintas distancias desde la costa

En los perfiles verticales de temperatura y salinidad realizados en los distintos puntos del transecto 3 y 6 no se observaron indicios claros de aportes de aguas subterráneas ya que la salinidad en todos los puntos aumentó con la profundidad. Tampoco se apreciaron alteraciones de la temperatura que no pudieran ser explicadas por las condiciones climáticas de la época del muestreo. Tan sólo los puntos GAN 3B (8m de profundidad) en el transecto 3 y GAN 6 (1.5 m de profundidad) en el transecto 6 mostraron una pequeña zona de 25-50 cm próxima al sedimento de menor salinidad.

Las muestras obtenidas del transecto de la playa de l'Ahuir presentaron ligeros indicios de aportes de aguas subterráneas, ya que los menores valores de salinidad en los puntos más cercanos a la costa no pueden ser explicados por entradas de aguas superficiales. Los compuestos de nitrógeno y sílice mostraron la pauta inversa a la de salinidad, mientras que el fósforo, al ser el nutriente limitante, mostró niveles muy bajos a lo largo de todo el transecto.

En el caso del transecto de la playa de Oliva las señales que sugieren entradas de aguas subterráneas fueron más evidentes. Se observó una salinidad alta en el punto de muestreo de la zona de surf más cercano a la costa, GAN 6G, y posteriormente dos puntos con valores inferiores (GAN 6 y GAN 6A). Esta bajada de salinidad nos podría estar indicando una surgencia de agua dulce en estos puntos, sobre todo en GAN 6 donde se apreció en los perfiles verticales de salinidad un ligero descenso en la zona más profunda. Además encontramos una concentración de clorofila muy elevada en el primer punto del transecto (GAN 6G), que podría indicar una importante entrada de nutrientes desde las aguas subterráneas si bien no se observaron altas concentraciones de N aunque si de P y Si probablemente por un alto consumo por parte del fitoplancton.

Respecto a las aguas subterráneas obtenidas de los puntos excavados en la playa, observamos fenómenos de salinización del acuífero en la playa de l'Ahuir, con una salinidad próxima a la del mar, además de estar contaminado por nitratos. Este hecho puede provenir de un exceso de abonado a los campos de naranjos con la consecuente contaminación del acuífero. Los valores contrastan con los de la playa de Oliva, con salinidades mucho más propias de aguas terrestres costeras y valores de nitratos bastante menores.

Además de los transectos se estudiaron puntos de muestreo situados en la zona de surf a lo largo de la costa para determinar posibles surgencias de agua subterráneas.

El punto en el que encontramos la menor salinidad estaba situado en la Playa del Marenyet de Cullera (GAN 1). Este punto también destacó por su alto contenido en nutrientes, con altas cantidades de compuestos de nitrógeno y moderadas de clorofila. Sin embargo esta zona se encuentra situada bajo la influencia del río Júcar, que es el río más caudaloso de la zona de estudio y que podría estar proporcionándole las características de nutrientes y baja salinidad por las que destaca este punto.

Otro punto de muestreo interesante por su baja salinidad es el situado en la playa de Tavernes de la Valldigna (GAN 2), ya que este punto no se encuentra en la desembocadura de ningún río y solo está influenciado por una acequia lejana al norte, y pese a esto contiene la segunda salinidad más baja de toda la zona de muestreo.

Aparte de de la salinidad, uno de los parámetros más importantes que nos puede estar mostrando una surgencia de aguas subterráneas submarinas es el silicio, el punto de muestreo con mayor cantidad de silicio después de GAN 1 fue el punto GAN 4, situado en la playa de Daimús. Además de silicio este punto posee una cantidad importante de nitrato y clorofila, características que lo hacen muy interesante para un estudio más pormenorizado. Por último señalar el punto GAN 5, en la zona del puerto de Oliva, por su alto contenido en nitratos y un valor también elevado de clorofila en la que también destaca el ya nombrado GAN 6G.

Este análisis forma parte de un estudio donde se pretende estimar flujos de aguas subterráneas en la zona muestreada basado en la cuantificación de cuatro radioisótopos naturales del radio: ^{224}Ra , ^{223}Ra , ^{228}Ra y ^{226}Ra . La principal característica en la que se basa el uso de estos elementos es que su concentración en aguas subterráneas es significativamente mayor que en las aguas superficiales de mar y de ríos.

El análisis previo por tanto destaca el transecto 6, en la playa de Oliva como el más interesante, y no se recomienda abandonar el transecto 3 en la playa de l'Ahuir. A parte de estos sería interesante realizar nuevos transectos en los puntos GAN 4, en la playa de Daimús y GAN 5 en el puerto de Oliva por contenido en nutrientes y posiblemente en GAN 2 en la playa de Tavernes de la Valldigna para determinar el motivo de su baja salinidad.

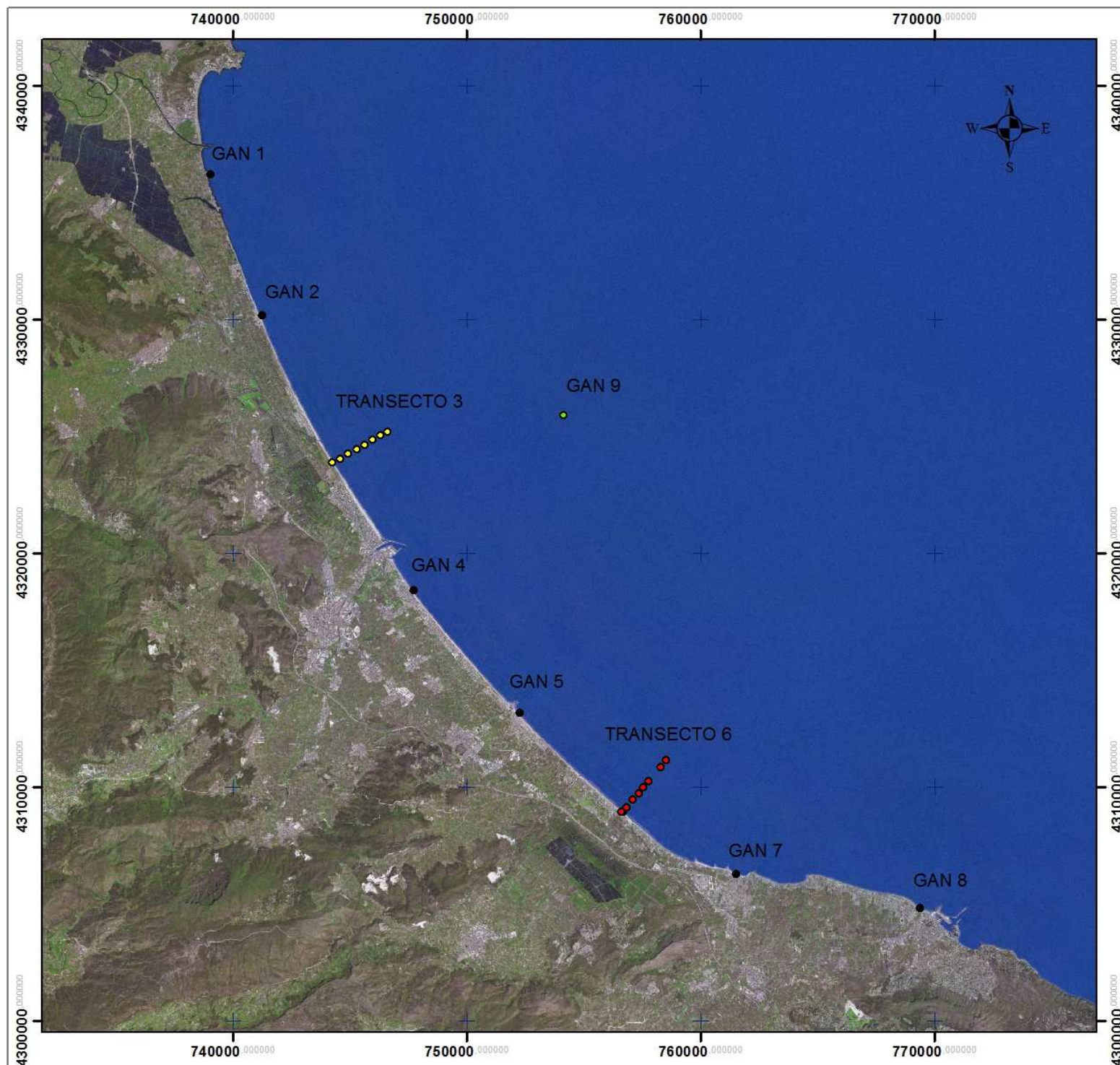
7 BIBLIOGRAFÍA

- APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (2005), Washington.
- Baumgarten, M. G.; Rocha, J.M. Niencheski, L.F. Manual de analyses em oceanografia quimica. Rio Grande, Ed. Da Furg, Brasil, (1996), 132 p.
- Bryson, D.D. & O.C. Boeckman. "Water well methemoglobinemia and water with less than 22.6 mg NO₃ N/L". American Chemical Society National Meeting (1989). Vol. 29: 18-19. Texas USA.
- Burnett W.C.; H. Bokuniewicz, M. Huettel, W.S. Moore, M. Taniguchi. "Groundwater and pore water inputs to the coastal zone". Biogeochemistry (2003) vol.66 p.3-33.
- Burnett, W. C. & H. Dulaiova. "Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon – 222 measurements". Journal of Environmental Radioactivity (2003) vol. 69 p. 21 – 35.
- Burnett W.C.; M. Taniguchi and J. Oberdofer. "Measurement and significance of the direct discharge of groundwater into the coastal zone". Journal of Sea Research (2001) vol. 46 p. 109-116.
- Burnett W.C.; P.K. Aggarwal, H. Bokuniewicz, J.E. Cable and M.A. Charette, et al. Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods. Science of the Total Environment, 367 (2006), pp. 498–543.
- Cable J.E.; W.C. Burnett, J.P. Chanton, D.R. Corbett and P.H. Cable, "Field evaluation of seepage meters in the coastal marine environment. Estuar. Coast. Shelf Sci., 45 (1997), pp. 367–375.
- Cognetti, G.; M. Sara y G. Magazzù , Biología Marina, Ariel Ciencia, Barcelona (2001), 619 pp.
- Custodio E., Relaciones agua dulce-agua salada en las regiones costeras. En Hidrología subterránea. 2ª Edición. E. Custodio y M.R. Llamas, (2001). Tomo II, p. 1318 .
- Garofano, V.;F. Martinez, R. Delgado,. Les riberes del Serpis. Gestió de l'aigua per a la seua conservació. Valencia: CEIC Alfons el Vell, (2009). ISBN: 978-84-96839-18-2
- Generalitat Valenciana. Conselleria d'agricultura, pesca i alimentació. Catálogo de suelos de la Comunidad Valenciana. Temas I.2. SINTESIS GEOLOGICA (1995) p. 20-22. y III.5. ARENOSILES p.94, 95, 102-107.
- Gil O. A.; "Los climas regionales. Los climas del sur de València y norte de Alacant". En Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990). Pérez Cueva A. Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports (1994). Tema IV p.136 y 137.
- Gutiérrez J.; García J.M., L.F. Molerio. "Vulnerabilidad de los acuíferos cársticos a los procesos de nitrificación". Coloquio Internacional Hidrología Cárstica de la Región del Caribe,(1982) UNESCO, La Habana: 523-536.
- Jeffrey, S. W. & Y Humprey, G. F., 1975. "New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, and cin higher plants, algae and natural phytoplankton". Biochem. Physiol,Pflanzen 167. [191-194].
- Kohout F.A., "Submarine springs: a neglected phenomenon of coastal hydrology". Hydrology, 26 (1966), pp. 391–413.

- Margalef, R.(1995).Ecologia. ISBN 84-282-0405-5, Omega,Barcelona.
- Margalef, R., “Environmental control of the mesoscale distribution of primary producers and its bearing to primary production in the western Mediterranean Sea. In: Moraitou- Apostolopoulou, M., Kiortsis, V. (Eds.), Mediterranean marine ecosystems. Plenum Press, New York (1985), pp. 213–229.
- Migon, C. & V. Sandroni, 1999. “Phosphorus in rainwater: Partitioning inputs and impact on the surface coastal ocean”. Limnology and Oceanography, 44(4):1160-1165.
- Minas, H., M. Minas, B. Coste, J. Gostan, P. Nival, M.C. Bonin. “Production de base et de recyclage; une revue de la problématique en méditerranée”. Oceanologica Acta 9 (1988), p.155–162.
- Morel, A. & J.M. Andre. “Pigment distribution and primary production in the western Mediterranean as derived and modeled from coastal zone color scanner observations”. Journal of Geophysical Research vol. 96, (1991). 12685–12698.
- Murphy, J. & J.P. Riley. “A Modified Single Solution Method for Determination of Phosphate in Natural Water”. Anal. Chem. Acta 27 (1962) : [31-36].
- Mwashote, B. “Submarine Groundwater Discharge: Its Importance and Quantification” [en línea]. SciTopics .(2010) from http://www.scitopics.com/Submarine_Groundwater_Discharge_Its_Importance_and_Quantification.html [Consulta: enero 2011].
- Nelson, D.M.; Tréguer P., Brzezinski M.A., Leynaert A. y Quéguiner B. “Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation”. Global Biogeochem., Cicl. , 9 (1995), pp 359-732.
- Nolan, B.T. “Nitrate behavior in ground waters of the southeastern USA”. Reston. J. Environ. Qual. 28 (1999), 1518-1527.
- Robles, F. “El medio natural, La constitución geológica”. En El medio ambiente en la Comunidad valenciana, Conselleria d’Administració pública. (1995) p. 20 y 24.
- Rodríguez Martínez, J. (2010). Ecología (2a edición) ISBN 978-84-368-2430-8, 502 pp., Ediciones Pirámide.
- Siokou-Frangou I.; U. Christaki, M.G. Mazzocchi, M. Montresor, M. Ribera d’Alcalá, D. Vaqué, A. Zingone. “Plankton in the open Mediterranean Sea”: a review.(2010) BG 7: 1543–1586.
- Sospedra J.; “Flujos de nutrientes a través de la interfase sedimento-agua en fondos de arenas dinas y su relación con los factores físico-químicos del sedimento”. (2010) p. 21 y 22.
- Strickland, J.D.H & T.R. Parsons. “A Practical handbook of Seawater Analysis”. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. , (1972) p. 167.
- Taniguchi M. & Y. Fukuo, “Continuous measurements of ground-water seepage using an automatic seepage meter”. Ground Water 31(1993):675–679.

8 ANEXO

LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO REALIZADOS



Leyenda

- Puntos de muestreo
- Punto control
- Transecto 3
- Transecto 6



0 1.500 3.000 6.000 9.000 12.000 Meters

European Datum 50 - 30N

David Vicente Vicente

01. Localización de los puntos de muestreo